

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**ТАБЛИЦЫ, РАСЧЕТНЫЕ НОМОГРАММЫ И ДИАГРАММЫ
ПО КУРСУ
«ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»
справочно-методическое пособие**

Для студентов химических специальностей всех форм обучения

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета
Протокол № 3 от 02.10.2003

Харьков 2003

УДК 541.10/083

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Шапорев В.П.

Составители: Товажнянский Л.Л.
Лещенко В.А.,
Рябова И.Б.,
Дуравкина Г.Л.,
Новикова Г.С.,
Горбунов К.А.

Таблицы, расчетные номограммы и диаграммы по курсу «Процессы и аппараты химической технологии», справочно-методическое пособие /Товажнянский Л.Л., Лещенко В.А. и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 96 с. На рус. яз.

В справочном издании приведены таблицы, диаграммы, номограммы для определения физико-химических свойств и других характерных параметров различных веществ.

Предназначено для студентов химических специальностей.

Табл. 59. Ил. 51. Библиогр. 4 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для изучения дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии» чрезвычайно важно освоение студентами инженерных методов расчета при решении задач на практических занятиях, выполнении лабораторного практикума и курсовом проектировании.

Выполнение практических расчетов позволяет понять физико-химическую сущность процессов, определить их важнейшие параметры или характеристики, приобрести необходимые расчетные навыки.

Для выполнения расчетов необходимо использовать обширный перечень физико-химических свойств большого количества веществ, которые представлены в специальной справочной литературе.

В предлагаемом пособии представлены таблицы, номограммы и диаграммы, которые содержат информацию о свойствах веществ и других характерных параметрах, необходимых для выполнения инженерных расчетов основных гидромеханических, тепловых и массообменных процессов. Номограммы и диаграммы снабжены схемой поясняющей принцип определения параметров или свойств веществ, а также коэффициентами для пересчета величин в СИ.

Данное пособие может быть использовано при изучении других учебных дисциплин и выполнении различных инженерных расчетов.

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЕДИНИЦАМИ ИЗМЕРЕНИЯ

Величины	Единицы измерения в СИ	Соотношение между единицами измерения в СИ и наиболее часто встречающимися единицами других систем и внесистемными
Длина	м	$1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$ $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ м}$ $1 \text{ in} = 25,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
Масса	кг	$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}$ $1 \text{ ц} = 100 \text{ кг}$ $1 \text{ lb} = 0,454 \text{ кг}$
Температура	К	$t \text{ }^{\circ}\text{C} = (t + 273,15) \text{ К}$ $t \text{ }^{\circ}\text{F} = \left[\frac{5}{9}(t - 32) + 273,15 \right] \text{ К}$
Угол плоский	рад	$1^{\circ} = \frac{\pi}{180} \text{ рад}$ $1' = \frac{\pi}{10800} \text{ рад}$ $1 \text{ оборот} = 2\pi \text{ рад} = 6,28 \text{ рад}$
Вес (сила тяжести)	Н	$1 \text{ кг} = 9,81 \text{ Н}$ $1 \text{ дин} = 10^{-5} \text{ Н}$ $1 \text{ стен} = 10^3 \text{ Н}$ $1 \text{ lbf} = 4,45 \text{ Н}$
Вязкости коэффициент динамический	Па · с	$1 \text{ П} = 1 \text{ дин} \cdot \text{с} / \text{см}^2 = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ $1 \text{ сП} = \frac{1}{9810} \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ $1 \text{ lbf} \cdot \text{s} / \text{ft}^2 = 47,88 \text{ Па} \cdot \text{с}$
Вязкости коэффициент кинематический	м ² /с	$1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2 / \text{с} = 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$ $1 \text{ ft}^2 / \text{s} = 0,093 \text{ м}^2 / \text{с}$ $1 \text{ ft}^2 / \text{h} = 25,81 \text{ м}^2 / \text{с}$
Давление	Па	$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$ $1 \text{ мбар} = 100 \text{ Па}$ $1 \text{ дин} / \text{см}^2 = 1 \text{ мкбар} = 0,1 \text{ Па}$ $1 \text{ кгс} / \text{см}^2 = 1 \text{ ат} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} = 735 \text{ мм рт. ст.}$ $1 \text{ кгс} / \text{м}^2 = 9,81 \text{ Па}$ $1 \text{ мм вод. ст.} = 9,81 \text{ Па}$ $1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3 \text{ Па}$ $1 \text{ lbf} / \text{in}^2 = 6894,76 \text{ Па}$ $1 \text{ lbf} / \text{ft}^2 = 47,88 \text{ Па}$
Диффузии коэффициент	м ² /с	$1 \text{ ft}^2 / \text{s} = 0,0929 \text{ м}^2 / \text{с}$
Мощность	Вт	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м} / \text{с} = 9,81 \text{ Вт}$ $1 \text{ эрг} / \text{с} = 10^{-7} \text{ Вт}$ $1 \text{ ккал} / \text{ч} = 1,163 \text{ Вт}$ $1 \text{ lbf} \cdot \text{ft} / \text{s} = 1,356 \text{ Вт}$
Натяжение поверхностное	Н/м	$1 \text{ кгс} / \text{м} = 9,81 \text{ Дж} / \text{м}^2$ $1 \text{ эрг} / \text{см}^2 = 1 \text{ дин} / \text{см} = 10^{-3} \text{ Дж} / \text{м}^2 = 10^{-3} \text{ Н} / \text{м}$

Величины	Единицы измерения в СИ	Соотношение между единицами измерения в СИ и наиболее часто встречающимися единицами других систем и внесистемными
Объем	м ³	$1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3 = 1 \text{ дм}^3$ $1 \text{ ft}^3 = 28,3 \text{ дм}^3 = 2,83 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ $1 \text{ in}^3 = 16,387 \text{ см}^3 = 16,39 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$
Объем удельный	м ³ /кг	$1 \text{ м}^3/\text{т} = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ $1 \text{ дм}^3/\text{кг} = 1 \text{ см}^3/\text{г} = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$
Плотность	кг/м ³	$1 \text{ т}/\text{м}^3 = 1 \text{ кг}/\text{дм}^3 = 1 \text{ г}/\text{см}^3 = 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ $1 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4 = 9,81 \text{ кг}/\text{м}^3$ $1 \text{ lb}/\text{ft}^3 \approx 16,02 \text{ кг}/\text{м}^3$ $1 \text{ lb}/\text{in}^3 \approx 27,68 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$
Плотность теплового потока	Вт/м ²	$1 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) = 1,163 \text{ Вт}/\text{м}^2$
Площадь	м ²	$1 \text{ ft}^2 = 0,0929 \text{ м}^2$ $1 \text{ in}^2 = 6,451 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$
Работа, энергия, количество теплоты	Дж	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Дж}$ $1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$ $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ $1 \text{ ккал} = 4,1868 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 4,19 \text{ кДж}$ $1 \text{ lb} \cdot \text{ft} = 1,356 \text{ Дж}$ $1 \text{ lb} \cdot \text{in} = 0,113 \text{ Дж}$ $1 \text{ BTU} = 1055,1 \text{ Дж}$
Расход массовый	кг/с	$1 \text{ lb}/\text{s} = 0,454 \text{ кг}/\text{с}$ $1 \text{ b}/\text{h} = 1,26 \cdot 10^{-4} \text{ кг}/\text{с}$
Расход объемный	м ³ /с	$1 \text{ л}/\text{мин} = 16,67 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ $1 \text{ ft}^3/\text{s} = 28,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ $1 \text{ in}^3/\text{s} = 16,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$
Скорость линейная	м/с	$1 \text{ ft}/\text{s} = 0,3048 \text{ м}/\text{с}$
Скорость угловая	рад/с	$1 \text{ об}/\text{мин} = \pi/30 \text{ рад}/\text{с}$ $1 \text{ об}/\text{с} = 2\pi \text{ рад}/\text{с}$
Теплоемкость удельная массовая	Дж/(кг·К)	$1 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ $1 \text{ эрг}/(\text{г} \cdot \text{K}) = 10^{-4} \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ $\text{BTU}/\text{lb} \cdot \text{deg F} = 4,19 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$
Теплоотдачи коэффициент, теплопередачи коэффициент	Вт/(м ² ·К)	$1 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ $1 \text{ BTU}/(\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{deg F}) = 5,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$
Теплопроводности коэффициент	Вт/(м·К)	$1 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$ $1 \text{ BTU}/(\text{ft} \cdot \text{h} \cdot \text{deg F}) = 1,73 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$
Теплота удельная (фазового превращения)	Дж/кг	$1 \text{ ккал}/\text{кг} = 1 \text{ кал}/\text{г} = 4,19 \text{ кДж}/\text{кг}$ $1 \text{ BTU}/\text{lb} = 2326 \text{ Дж}/\text{кг}$
Ускорение линейное	м/с ²	$1 \text{ in}/\text{s}^2 = 25,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}/\text{с}^2$ $1 \text{ ft}/\text{s}^2 = 0,3048 \text{ м}/\text{с}^2$
Частота	Гц	$1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$ $1 \text{ об}/\text{с} = 1 \text{ Гц}$ $1 \text{ об}/\text{мин} = 1/60 \text{ Гц}$
Энтальпия удельная	Дж/кг	$1 \text{ ккал}/\text{кг} = 1 \text{ кал}/\text{г} = 4,19 \text{ кДж}/\text{кг}$ $1 \text{ BTU}/\text{lb} = 2326 \text{ Дж}/\text{кг}$
Энтропия удельная	Дж/(кг·К)	$1 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ $1 \text{ BTU}/(\text{lb} \cdot \text{deg F}) = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$

Таблица 1 – Атомные массы некоторых элементов по Международной таблице 1977 г.

Наименование	Символ	Атомная масса	Наименование	Символ	Атомная масса	Наименование	Символ	Атомная масса
Азот	N	14,0067	Кальций	Ca	40,08	Радий	Ra	226,0254
Алюминий	Al	26,98154	Кислород	O	15,999	Ртуть	Hg	200,5
Аргон	Ar	39,94	Кобальт	Co	58,9332	Свинец	Pb	207,2
Барий	Ba	137,33	Кремний	Si	28,085	Серебро	Ag	107,868
Бериллий	Be	9,01218	Криптон	Kr	83,80	Сера	S	32,06
Бор	B	10,81	Ксенон	Xe	131,30	Стронций	Sr	87,62
Бром	Br	79,904	Литий	Li	6,94	Сурьма	Sb	121,7
Ванадий	V	50,9415	Магний	Mg	24,305	Титан	Ti	47,90
Висмут	Bi	208,9804	Марганец	Mn	54,9380	Углерод	C	12,011
Водород	H	1,0079	Медь	Cu	63,54	Уран	U	238,02
Гелий	He	4,00260	Молибден	Mo	95,94	Фосфор	P	30,97376
Железо	Fe	55,84	Мышьяк	As	74,9216	Фтор	F	18,998403
Золото	Au	196,9665	Натрий	Na	22,98977	Хлор	Cl	35,453
Иод	I	126,9045	Никель	Ni	58,70	Хром	Cr	51,996
Кадмий	Cd	112,41	Олово	Sn	118,6	Цинк	Zn	65,38
Калий	K	39,098	Платина	Pt	195,0			

Таблица 2 – Физические свойства воды (на линии насыщения).

Пересчет в СИ: $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$

P , кгс/см ²	t , °C	ρ , кг/м ³	i , кДж/(кг·K)	c , кДж/(кг·K)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·K)	$\alpha \cdot 10^7$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^6$, K ⁻¹	$\sigma \cdot 10^6$, кг/с ²	Pr
1	0	1000	0	4,23	55,1	1,31	1790	1,79	-0,63	756	13,7
1	10	1000	41,9	4,19	57,5	1,37	1310	1,31	+0,70	762	9,52
1	20	998	83,8	4,19	59,9	1,43	1000	1,01	1,82	727	7,02
1	30	996	126	4,18	61,8	1,49	804	0,81	3,21	712	5,42
1	40	992	168	4,18	63,4	1,53	657	0,66	3,87	697	4,31
1	50	988	210	4,18	64,8	1,57	549	0,556	4,49	677	3,54
1	60	983	251	4,18	65,9	1,61	470	0,478	5,11	662	2,98
1	70	978	293	4,19	66,8	1,63	406	0,415	5,70	643	2,55
1	80	972	335	4,19	67,5	1,66	355	0,365	6,32	626	2,21
1	90	965	377	4,19	68,0	1,68	315	0,326	6,95	607	1,95
1,03	100	958	419	4,23	68,3	1,69	282	0,295	7,5	589	1,75
1,46	110	951	461	4,23	68,5	1,69	256	0,268	8,0	569	1,58
2,02	120	943	503	4,23	68,6	1,72	231	0,244	8,6	549	1,43
2,75	130	935	545	4,27	68,6	1,72	212	0,226	9,2	529	1,32
3,68	140	926	587	4,27	68,5	1,72	196	0,212	9,7	507	1,23
4,85	150	917	629	4,32	68,4	1,72	185	0,202	10,3	487	1,17
6,30	160	907	671	4,36	68,3	1,72	174	0,191	10,8	466	1,10
8,08	170	897	713	4,40	67,9	1,72	163	0,181	11,5	444	1,05
10,23	180	887	755	4,44	67,5	1,72	153	0,173	12,2	424	1,01

Таблица 3 – Основные физические свойства некоторых газов.
Пересчет в СИ: 1 мм.рт.ст = 133,3 Па; 1 кгс/см² = 9,81 10⁴.

Название	Формула	Плотность при 0°С и 760 мм рт. ст., кг/м ³	Молекулярная масса, кг/кмоль	Удельная теплоемкость при 20°С и $\rho_{абс} \approx 0,1$ Мпа, кДж/(кг·К)		$k = c_p/c_v$	Температура кипения при 760 мм рт.ст., кДж/кг	Удельная теплота испарения при 760 мм рт.ст., кДж/кг	Критические точки		Вязкость μ_0 при 0°С и $\rho_{абс}=1$ кгс/см ²	
				c_p	c_v				температура, °С	давление (абс.), кгс/см ²	10 ⁶ Па·с	константа С ур-я (1.13)
Азот	N ₂	1,25	28	1,05	0,746	1,40	–195,8	199,4	–147,1	33,49	17	114
Аммиак	NH ₃	0,77	17	2,22	1,68	1,29	–33,4	1374	+132,4	111,5	9,18	626
Аргон	Ar	1,78	39,9	0,53	0,323	1,66	–185,9	163	–122,4	48,00	20,9	142
Ацетилен	C ₂ H ₂	1,171	26,0	1,68	1,36	1,24	–83,7 (возг.)	830	+35,7	61,6	9,35	198
Бензол	C ₆ H ₆	—	78,1	1,25	1,140	1,1	+80,2	394	+288,5	47,7	7,2	—
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,673	58,1	1,92	1,80	1,08	–0,5	387	+152	37,5	8,1	377
Воздух	—	1,293	(29,0)	1,01	0,721	1,40	–195	197	–140,7	37,2	17,3	124
Водород	H ₂	0,089	2,02	14,3	10,140	1,407	–252,8	455	–239,9	12,80	8,42	73
Гелий	He	0,179	4,0	5,28	3,18	1,66	–268,9	19,5	–268,0	2,26	18,8	78
Диоксид азота	NO ₂	—	46,0	0,804	0,62	1,31	+21,2	712	+158,2	100,00	—	—
Диоксид серы	SO ₂	2,93	64,1	0,633	0,503	1,25	–10,8	394	+157,5	77,78	11,7	396
Диоксид углерода	CO ₂	1,98	44,0	0,838	0,654	1,30	–78,2 (возг.)	574,0	+31,1	72,9	13,7	254
Кислород	O ₂	1,429	32	0,913	0,654	1,40	–183,0	213	–118,8	49,71	20,3	131
Метан	CH ₄	0,72	16,0	2,23	1,70	1,31	–161,6	511	–82,15	45,6	10,3	162
Оксид углерода	CO	1,25	28,0	1,05	0,754	1,40	–191,5	212	–140,2	34,53	16,6	100
Пентан	C ₅ H ₁₂	—	72,2	1,72	1,58	1,09	+36,1	360	197,1	33,0	8,74	—
Пропан	C ₃ H ₈	2,02	44,1	1,87	1,65	1,13	–42,1	427	95,6	43	7,95 (18°С)	278
Пропилен	C ₃ H ₆	1,91	42,1	1,63	1,44	1,17	–47,7	440	91,4	45,4	8,35 (20°С)	322
Сероводород	H ₂ S	1,54	34,1	1,060	0,804	1,30	–60,2	549	100,4	188,9	11,66	—
Хлор	Cl ₂	3,22	70,9	0,482	0,355	1,36	–33,8	306	144,0	76,1	12,9 (16°С)	351
Хлористый метил	CH ₃ Cl	2,3	50,5	0,742	0,582	1,28	–21,4	406	148	66,0	9,89	454
Этан	C ₂ H ₆	1,36	30,1	1,73	1,45	1,20	–88,50	486	32,1	48,85	8,5	287
Этилен	C ₂ H ₄	1,26	28,1	1,53	1,26	1,20	–103,7	482	9,7	50,7	9,85	241

1. Номограмма для определения плотности органических жидкостей

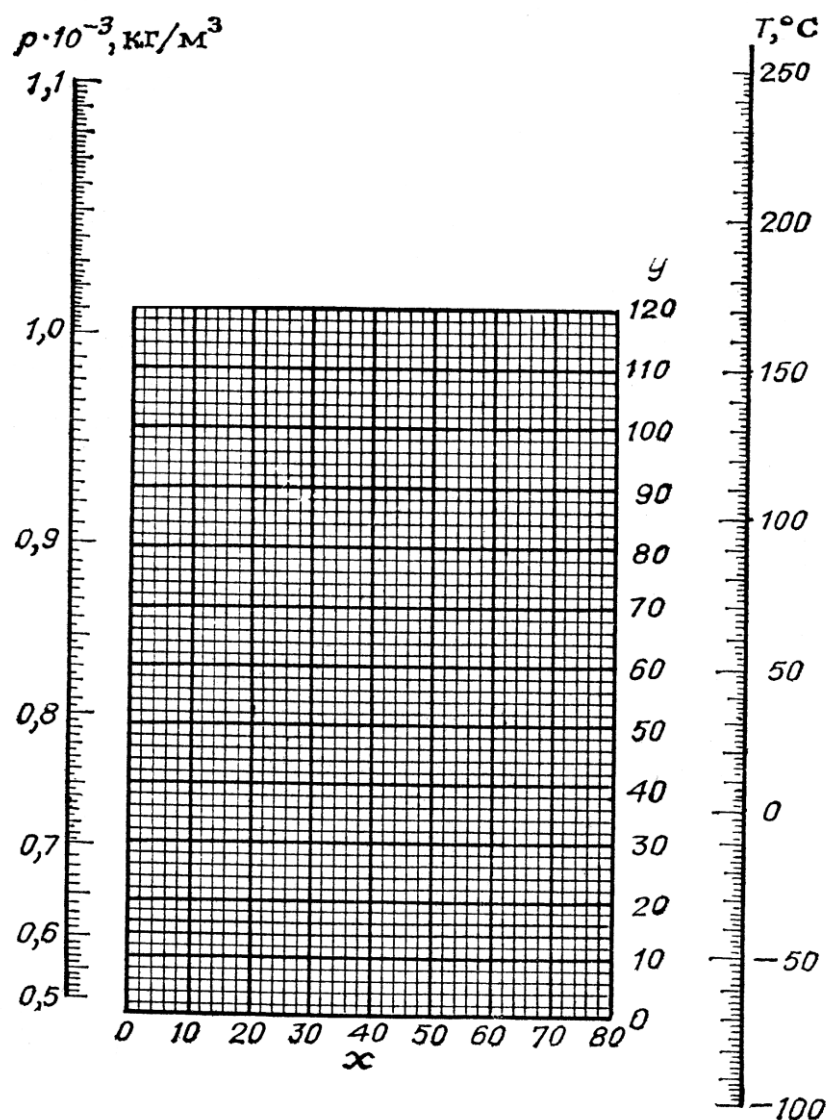
Номограмма построена по экспериментальным данным, полученным для различных веществ, и с помощью диаграмм линейности. В качестве стандартных веществ использовались следующие: этан – в диапазоне изменения плотностей $\rho = 350 \div 550$, бензол – для $\rho = 500 \div 800$, уксусная кислота – $\rho = 750 \div 1050$ и четыреххлористый углерод – для $\rho = 1000 \div 1100$ кг/м³.

Для соединений, не вошедших в таблицу, необходимо иметь значения плотности для двух температур, чтобы было можно нанести на диаграмму фокусную точку и определить ее координаты в сетке.

Пользование номограммой. Находят для заданного соединения координаты x и y из таблицы, приведенной ниже. Через точку пересечения координат и заданную температуру проводят прямую линию. На шкале плотностей читают соответствующее значение ρ .

Жидкость	x	y	Жидкость	x	y	Жидкость	x	y
Аммиак	22,4	24,6	Фосфин	28,0	22,1	Этилмеркаптан	32,0	55,5
Анилин	33,5	92,5	Фторбензол	41,9	86,7	Этиловый эфир	22,6	35,8
Ацетилен	20,8	10,1	Хлорбензол	41,7	105,0	Этиловый спирт	24,2	48,6
Ацетон	26,1	47,8	Циклогексан	19,6	44,0	Этилпропионат	32,1	63,9
Ацетонитрил	21,8	44,9	Эйкозан	14,8	47,5	Этилпропиловый эфир	20,0	37,0
Бензол	32,7	63,0	Этан	10,8	4,4	Этилсульфид	25,7	55,3
Гексан	13,5	27	Этилацетат	35,0	65,0	Этилформиат	37,6	68,4
Гексадекан	15,8	45	Этилен	17,0	3,5			

Гептан	12,6	29,8
Гептадекан	15,6	45,7
Декан	16	38,2
Двуокись углерода	78,6	45,4
Диэтиламин	17,8	33,5
Додекан	14,3	41,4
Изоамиловый спирт	20,5	52,0
Изобутан	137	16,5
Изомасляная кислота	31,5	75,9
Изопентан	13,5	22,5
Масляная кислота	31,3	78,7
Метилацетат	40,1	70,3
Метиловый спирт	25,8	49,1
Метилбутират	31,5	65,5
Метилизобутират	33,0	64,1
Метилхлорид	52,3	62,9
Метиловый эфир	27,2	30,1
Метилформиат	46,4	74,6
Метилмеркаптан	37,3	59,5
Метилпропионат	36,5	68,3
Метилсульфид	31,9	57,4
Нонадекан	14,9	47,0
Нонан	16,2	36,5
Октадекан	16,2	46,5
Октан	12,7	32,5
Пентадекан	15,8	44,2
Пентан	12,6	22,6
Пипиридин	27,5	60,0
Пропан	14,2	12,2
Пропионовая кислота	35,0	83,5
Пропионитрил	20,1	44,6
Пропилацетат	33,0	65,5
Пропиловый спирт	23,8	50,8
Пропилформиат	33,8	66,7
Тетрадекан	15,8	43,3
Тридекан	15,3	42,4
Триэтиламин	17,9	37,8
Уксусная кислота	40,6	93,5
Ундекан	14,4	39,2



Фенол	35,7	103,8
-------	------	-------

Таблица 4 – Плотность некоторых жидкостей при 0 – 20 °С

Жидкость	Плотность, кг/м ³	Жидкость	Плотность, кг/м ³
Азотная кислота, 92 %	1500	Ртуть	13600
Аммиак, 26 %	910	Серная кислота, 30 %	1220
Бензин	760	Соляная кислота, дымящая	1210
Глицерин, 100 %	1270	Уксусная кислота, 70 %	1070
» » 80 %	1130	» » 30 %	1040
Диэтиловый эфир	710	Хлороформ	1530
Керосин	850	Четыреххлористый углерод	1630
Ксилол	880	Этилацетат	900
Мазут	890– 950	Этиленхлорид	1280
Метиловый спирт, 90 %	820	Этиловый спирт, 100 %	790
» » 30 %	950	» » 70 %	850
Нафталин (расплавленный)	1100	» » 40 %	920
Нефть	790– 950	» » 10 %	980

Таблица 5 – Плотность твердых материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Материал	Плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³
Алебастр	2500	—	Пробка	240	—
Антрацит	1600	—	Резина	1500	—
Апатит	3190	1850	Селитра натриевая	2260	1200
Асбест	2600	—	Сода кристаллическая	1450	800
Бетон	2300	—	Соль каменная	2350	1020
Винипласт	1380	—	Сосна	500	—
Гипс кристаллический	2240	1300	Стекло	2500	—
Глина сухая	—	1380	Текстолит	1380	—
Гранит	2700	—	Уголь древесный	1450	200
Земля сухая	1800	1300	Уголь каменный	1350	800
Известняк	2650	1800	Фаолит	1730	—
Каолин	2200	—	Фосфорит	—	1600
Каучук	930	—	Цемент	2900	—
Кварц	2650	1500	Эмаль	2350	—
Керамика кислотоупорная	2600	—	Металлы		
Кирпич обыкновенный	1500	—	Сталь	7850	—
Кокс	1300	500	Чугун серый	7250	—
Колчедан серый	5000	3300	Медь катаная	8800	—
Кожа сухая	860	—	Латунь	8500	—
Литье каменное	3000	—	Алюминий	2700	—
Мел кусковой	2200	1300	Свинец	11400	—
Мрамор	2600	—	Огнеупоры		
Парафин	900	—	Динас	1900	—

Материал	Плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Материал	Плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³
Паронит	1200	—	Магнезит	2900	—
Песок сухой	1500	1200	Шамот	1900	—
Поташ	2260	—			

Таблица 6 – Плотность жидких веществ и водных растворов в зависимости от температуры

Вещество	Плотность, кг/м ³							
	–20°C	0°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	120°C
Азотная кислота, 100 %	1582	1547	1513	1478	1443	1408	1373	1338
» » 50 %	—	1334	1310	1287	1263	1238	1212	1186
Аммиак жидкий	665	639	610	580	545	510	462	390
Аммиачная вода, 25 %	—	918	907	897	887	876	866	856
Анилин	—	1039	1022	1004	987	969	952	933
Ацетон	835	813	791	768	746	719	693	665
Бензол	—	900	879	858	836	815	793	769
Бутиловый спирт	838	824	810	795	781	766	751	735
Вода	—	1000	998	992	983	972	958	943
Гексан	693	677	660	641	622	602	581	559
Глицерин, 50 %	—	1136	1126	1116	1106	1006	996	986
Диоксид серы (жидк.)	1484	1434	1383	1327	1264	1193	1111	1010
Дихлорэтан	1310	1282	1254	1224	1194	1163	1133	1102
Диэтиловый эфир	758	736	714	689	666	640	611	576
Изопропиловый спирт	817	801	785	768	752	735	718	700
Кальций хлористый, 25 % р-р	1248	1239	1230	1220	1210	1200	1190	1180
м-Ксилол	—	882	865	847	831	796	796	77
Метиловый спирт, 100 %	828	810	792	774	756	736	714	—
» » 40 %	—	946	935	924	913	902	891	880
Муравьиная кислота	—	1244	1220	1195	1171	1147	1121	1096
Натр едкий, 50 % р-р	—	1540	1525	1511	1497	1483	1469	1454
» » 40 %	—	1443	1430	1416	1403	1389	1375	1360
» » 30 %	—	1340	1328	1316	1303	1289	1276	1261
» » 20 %	—	1230	1219	1208	1196	1183	1170	1155
» » 10 %	—	1117	1109	1100	1089	1077	1064	1049
Натрий хлористый, 20% р-р	—	1157	1148	1139	1130	1120	1110	1100
Нитробензол	—	1223	1203	1183	1163	1143	1123	1103
Октан	734	718	702	686	669	653	635	617
Олеум, 20 %	—	1922	1896	1870	1844	1818	1792	1766
Пропиловый спирт	—	819	804	788	770	752	733	711
Серная кислота, 98 %	—	1857	1837	1817	1798	1779	1761	1742
» » 92 %	1866	1845	1824	1803	1783	1765	1744	1723
» » 75 %	1709	1689	1669	1650	1632	1614	1597	1580
» » 60 %	1532	1515	1498	1482	1466	1450	1434	1418
Сероуглерод	1323	1293	1263	1233	1200	1165	1125	1082
Соляная кислота, 30 %	1173	1161	1149	1138	1126	1115	1103	1090
Толуол	902	884	866	847	828	808	788	766
Уксусная кислота, 100 %	—	1072	1048	1027	1004	981	958	922
» » 50 %	—	1074	1058	1042	1026	1010	994	978
Фенол (расплавленный)	—	—	1075	1058	1040	1022	1003	987
Хлорбензол	1150	1128	1107	1085	1065	1041	1021	995
Хлороформ	1563	1526	1489	1450	1411	1380	1326	1280
Четыреххлористый углерод	1670	1633	1594	1556	1517	1471	1434	1390
Этилацетат	947	924	901	876	851	825	797	768

Этиловый спирт, 100 %	823	806	789	772	754	735	716	693
» » 80 %	—	857	843	828	813	797	783	768
» » 60 %	—	904	891	878	864	849	835	820
» » 40 %	—	947	935	923	910	897	885	872
» » 20 %	—	977	969	957	946	934	922	910

Таблица 7 – Динамические коэффициенты вязкости воды

Температура, °С	Динамический коэффициент вязкости, мПа·с (сП)	Температура, °С	Динамический коэффициент вязкости, мПа·с (сП)	Температура, °С	Динамический коэффициент вязкости, мПа·с (сП)
0	1,792	33	0,7523	67	0,4233
1	1,731	34	0,7371	68	0,4174
2	1,673	35	0,7225	69	0,4117
3	1,619	36	0,7085	70	0,4061
4	1,567	37	0,6947	71	0,4006
5	1,519	38	0,6814	72	0,3952
6	1,473	39	0,6685	73	0,3900
7	1,428	40	0,6560	74	0,3849
8	1,386	41	0,6439	75	0,3799
9	1,346	42	0,6321	76	0,3750
10	1,308	43	0,6207	77	0,3702
11	1,271	44	0,6097	78	0,3655
12	1,236	45	0,5988	79	0,3610
13	1,203	46	0,5883	80	0,3565
14	1,171	47	0,5782	81	0,3521
15	1,140	48	0,5683	82	0,3478
16	1,111	49	0,5588	83	0,3436
17	1,083	50	0,5494	84	0,3395
18	1,056	51	0,5404	85	0,3355
19	1,030	52	0,5315	86	0,3315
20	1,005	53	0,5229	87	0,3276
20,2	1,000	54	0,5146	88	0,3239
21	0,9810	55	0,5064	89	0,3202
22	0,9579	56	0,4985	90	0,3165
23	0,9358	57	0,4907	91	0,3130
24	0,9142	58	0,4832	92	0,3095
25	0,8937	59	0,4759	93	0,3060
26	0,8737	60	0,4688	94	0,3027
27	0,8545	61	0,4618	95	0,2994
28	0,8360	62	0,4550	96	0,2962
29	0,8180	63	0,4483	97	0,2930
30	0,8007	64	0,4418	98	0,2899
31	0,7840	65	0,4355	99	0,2868
32	0,7679	66	0,4293	100	0,2838

Таблица 8 – Динамические коэффициенты вязкости глицерина

Температура, °С	Динамический коэффициент вязкости, мПа·с (сП)	Температура, °С	Динамический коэффициент вязкости, мПа·с (сП)	Температура, °С	Динамический коэффициент вязкости, мПа·с (сП)
0	12100	40	330	100	13
5	7050	50	180	120	5,2
10	3950	60	102	140	1,8
15	2350	70	59	160	1,0
20	1480	80	35	180	0,45
30	600	90	21	200	0,22

Таблица 9 – Физические свойства некоторых органических жидкостей
(Пересчет в СИ: 1 мм.рт.ст. = 133,3Па)

Жидкость	Химическая формула	Мольная масса, кг/кмоль	Плотность, кг/м ³	Температура кипения, °С	Давление насыщенного пара при 20°С, мм.рт.ст.	Температура плавления, °С
Ацетон	CH ₃ COCH ₃	58,08	810	56	186	–94,3
Бензин	—	—	690–760	70–120	—	—
Бензол	C ₆ H ₆	78,11	900	80,2	75	+5,5
Дихлорэтан	CH ₂ Cl–CH ₂ Cl	98,97	1250	83,7	65	—
Изопропилацетат	CH ₃ COOC ₃ H ₇	102,13	870	142,5	6	—
Ксилолы (смесь)	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106,16	860	136–145	10	–13 ÷ –48
Метилацетат	CH ₃ COOCH ₃	74,08	930	57,5	170	—
Пропилацетат	CH ₃ COOC ₃ H ₇	102,13	890	101,6	25	—
Сероуглерод	CS ₂	76,13	1290	46,3	298	–112
Скипидар	C ₁₀ H ₁₆	136,1	850–880	155–190	4	—
Спирт бутиловый	C ₄ H ₉ OH	74,12	810	117,7	4,7	–90
Спирт изоамиловый	C ₅ H ₁₁ OH	88,15	810	132	2,2	–117
Спирт изобутиловый	C ₄ H ₉ OH	74,12	800	108	8,8	–108
Спирт изопропиловый	C ₃ H ₇ OH	60,09	785	82,4	32,4	–89
Спирт метиловый	CH ₃ OH	32,04	800	64,7	90,7	–98
Спирт пропиловый	C ₃ H ₇ OH	60,09	800	97,2	14,5	–126
Спирт этиловый	C ₂ H ₅ OH	46,07	790	78,3	44	–114,5
Толуол	C ₆ H ₅ CH ₃	92,13	870	110,8	22,3	–95
Углерод четыреххлористый	CCl ₄	153,84	1630	76,7	90,7	–22,8
Хлороформ	CHCl ₃	119,38	1530	61,2	160	—
Этилацетат	CH ₃ COOC ₂ H ₅	88,10	900	77,15	73	–83,6
Эфир диэтиловый	C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅	74,12	710	34,5	442	–116,3

Таблица 10 – Атомные константы вязкости

Атомы	H	O	N	Cl	Br	I	C
Атомные константы	2,7	29,7	37,0	60,0	79,0	110,0	50,0

Номер п/п	Характер связей и группировок	Поправки к константам p
-----------	-------------------------------	-------------------------

1	Двойная связь	–15,5
2	Пятичленное кольцо	–24,0
3	Шестичленное кольцо	–21,0
4	Боковая группа шестишленного кольца мол. масса < 17 мол. масса > 16	–9,0 –17,0

Продолжение таблицы 10

5	Орто- и пара-положения вторых заместителей		+3,0
6	Мета-положение вторых заместителей		+1,0
7	$\begin{array}{c} \text{R} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{R} \\ \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \quad \text{---} \quad \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{R} \quad \quad \text{R} \end{array}$		+8,0
8	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R} \text{---} \text{C} \text{---} \text{R} \\ \\ \text{R} \end{array}$		+13,0
9	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{R} \text{---} \text{C} \\ \diagdown \\ \text{H} \end{array}$		+16,0
10	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{R} \text{---} \text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}_3 \end{array}$		+5,0
11	$\text{R} \text{---} \text{C} = \text{CHCH}_2\text{X}$	(X – отрицательная группа)	+4,0
12	$\begin{array}{c} \text{R} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \text{---} \text{X} \\ \diagup \\ \text{R} \end{array}$	(X – отрицательная группа)	+6,0
13	ОН		+24,7
14	COO		–19,6
15	COOH		–7,9
16	NO ₂		–16,4

Таблица 11 – Динамические коэффициенты вязкости некоторых водных растворов

Растворенное вещество	Концентрация, % (масс.)	Динамический коэффициент вязкости, мПа·с (сП)				
		0°С	20 °С	30°С	40°С	60°С
NaOH	5	—	1,3	1,05	0,85	—

	15	—	2,78	2,10	1,65	—
	25	—	7,42	5,25	3,86	—
NaCl	5	1,86	1,07	0,87	0,71	0,51
	15	2,27	1,36	1,07	0,89	0,64
	25	3,31	1,89	—	—	—
NaNO ₃	10	—	1,07	0,88	0,72	0,54
	20	—	1,18	1,03	0,86	0,62
	30	—	1,33	1,3	1,07	0,79

Продолжение таблицы 11

Na ₂ CO ₃	10	—	1,74	1,38	1,1	—
	20	—	4,02	2,91	2,25	—
	30	—	—	8,35	5,6	—
KOH	10	—	1,23	1,0	0,83	—
	20	—	1,63	1,33	1,11	—
	30	—	2,36	1,93	1,57	—
KCl	5	1,7	0,99	0,8	0,66	0,48
	15	1,58	1,0	0,83	0,69	0,52
	20	—	1,02	0,85	0,72	0,54
KNO ₃	5	1,68	0,98	0,8	0,66	0,49
	15	—	0,98	0,8	0,69	0,51
	30	—	—	0,89	—	—
NH ₄ NO ₃	10	1,58	0,96	0,79	0,66	0,5
	30	1,51	1,0	0,84	0,73	0,57
	50	—	1,33	1,14	0,99	0,77
MgCl ₂	10	2,8	1,5	—	—	—
	20	5,3	2,7	—	—	—
	35	19,3	10,1	—	—	—
CaCl ₂	10	2,17	1,27	—	—	—
	20	3,14	1,89	—	—	—
	35	8,9	5,1	—	—	—

Таблица 12 – Значение $\sqrt{MT_{кр}}$ для некоторых газов

Газ	M	$T_{кр}$, K	$\sqrt{MT_{кр}}$
Азот	28	126	59,5
Бутан	58	426	157
Водород	2	33	8,13
Водяной пар	18	647	108
Воздух	29	132,7	61,9
Гексан	86	508	209

Диоксид углерода	44	304	115,5
Кислород	32	154	70,2
Метан	16	190	55,1
Оксид углерода	28	134	61,4
Пентан	72	470	184
Пропан	44	370	128
Этан	30	305	95,6
Этилен	28	283	89,0

2. Номограмма для определения вязкости жидкостей

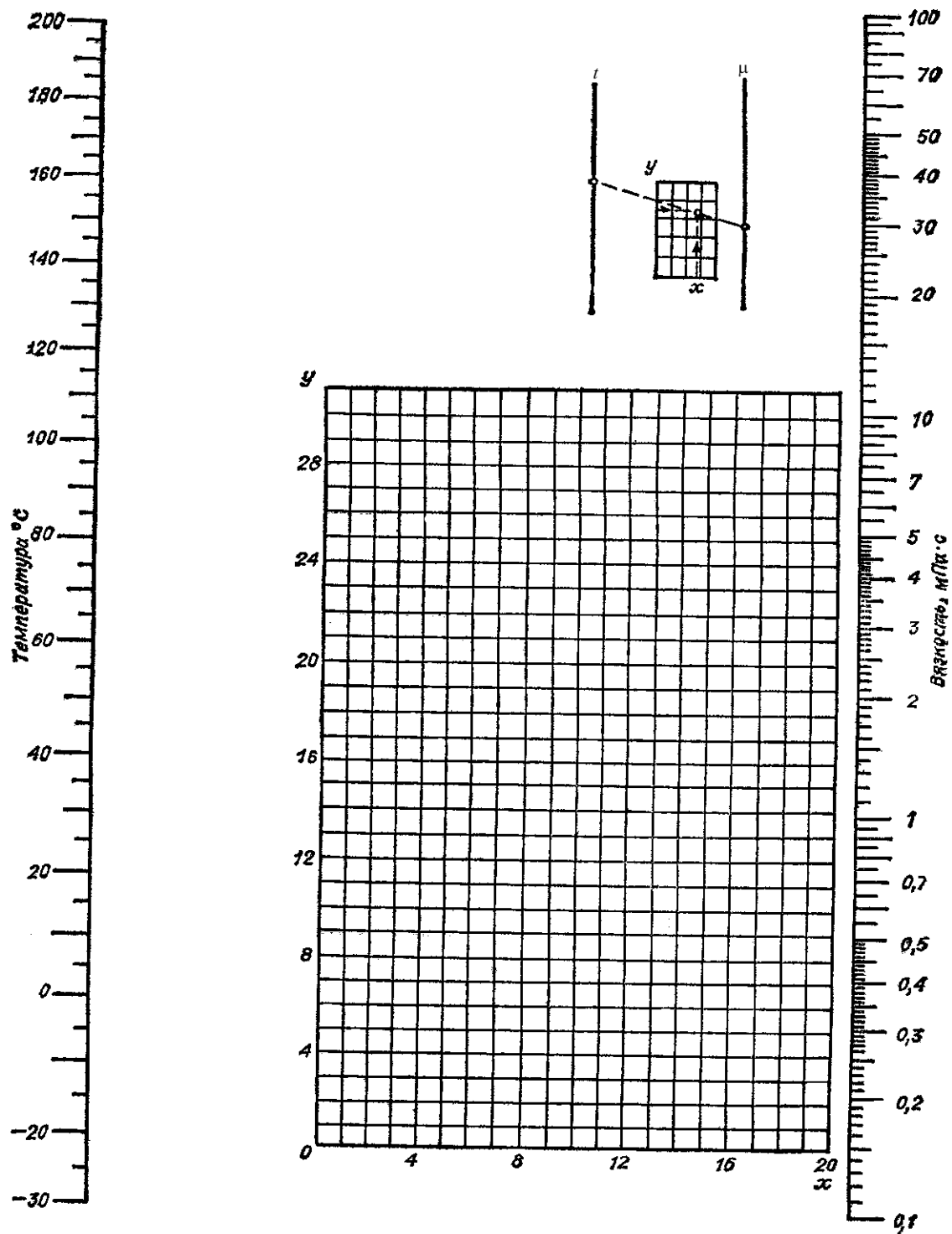
В основе номограммы лежит полуэмпирическая зависимость:

$$\lg \mu = aT^n$$

где μ – динамический коэффициент вязкости жидкости; T – температура, К; a и n – эмпирические константы.

Пользование номограммой. По координатам x и y для заданной жидкости находят на сетке точку, через которую проводят прямую от заданной точки на шкале температуры до шкалы вязкости.

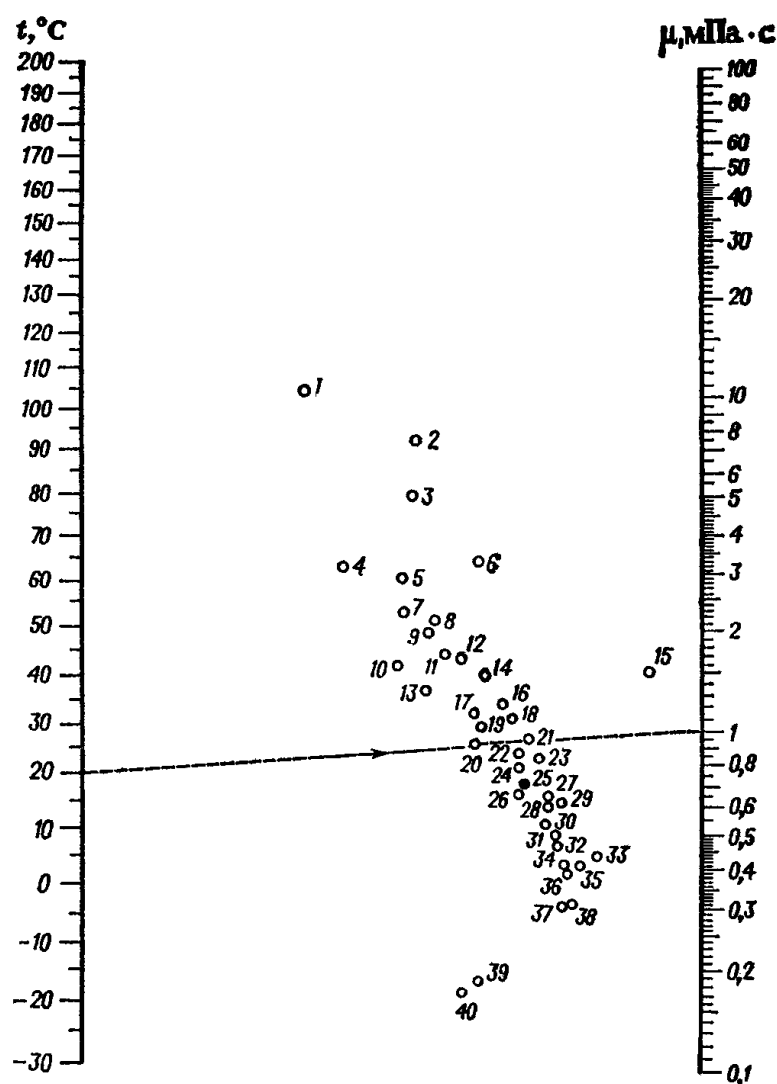
Примечание. $1\text{мПа}\cdot\text{с} = 10^{-3}\text{Па}\cdot\text{с} = 1\text{сП} = 10^{-2}\text{П} = 10^{-3}\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$.



Жидкость	x	y	Жидкость	x	y
Азотная кислота, 95%	12,8	13,8	Октиловый спирт	6,6	21,1
Азотная кислота 60%	10,8	17,0	Пентан	14,9	5,2
Аллиловый спирт	10,2	14,3	Пентахлорэтан	10,9	17,3
Амилацетат	11,8	12,5	n – Пропиловый спирт	9,1	16,5
Амиловый спирт	7,5	18,4	изо – Пропиловый спирт	8,2	16,0
Аммиак, 100%	12,6	2,0	Пропионовая кислота	12,8	13,8
Аммиак, 26%	10,1	13,9	Ртуть	18,4	16,4

Жидкость	х	у	Жидкость	х	у
Анизол	12,3	13,5	Серная кислота, 110%	7,2	27,4
Анилин	8,1	18,7	Серная кислота, 98%	7,0	24,8
Ацетон, 100%	14,5	7,2	Серная кислота, 69%	10,2	21,3
Ацетон, 35%	7,9	15,0	Сероуглерод	16,1	7,5
Бензол	12,5	10,9	Соляная кислота, 31,5 %	13,0	16,6
Бром	14,2	13,2	Терпентин	11,5	14,9
Бромистый пропилен	14,5	9,6	Тетрахлорэтан	11,9	15,7
Бромистый этил	14,5	8,1	Тетрахлорэтилен	14,2	12,7
Бромтолуол	20,0	15,9	Толуол	13,7	10,4
Бутилацетат	12,3	11,0	Трехбромистый фосфор	13,8	16,7
н – Бутиловый спирт	8,6	17,2	Треххлористый мышьяк	13,9	14,5
изо – Бутиловый спирт	7,1	18,0	Треххлористый фосфор	16,2	10,9
Винилацетат	14,0	8,8	Трихлорэтилен	14,8	10,5
Вода	10,2	13,0	Уксусная кислота, 100%	12,1	14,2
Гексан	14,7	7,0	Уксусная кислота, 70%	9,5	17,0
Гептан	14,1	8,4	Уксусный альдегид	15,2	4,8
Глицерин, 100%	2,0	30,0	Уксусный ангидрид	12,7	12,8
Глицерин, 50%	6,9	19,6	Фенол	6,9	20,8
Двуокись серы	15,2	7,1	Фреон – 11 (хладон – 11)	14,4	9,0
Двуокись углерода	11,6	0,3	Фреон – 12 (хладон – 12)	16,8	5,6
Дибромэтан	12,7	15,8	Фреон – 21 (хладон – 21)	15,7	7,5
Диметиллоксалат	12,3	15,8	Фреон – 22 (хладон – 22)	17,2	4,7
Дипропилоксалат	10,3	17,7	Фреон – 113 (хладон – 113)	12,5	11,4
Дифенил	12,0	18,3	Хлорбензол	12,3	12,4
Дихлорэтан	13,2	12,2	Хлорное олово (IV)	13,5	12,8
Диэтилоксалат	11,0	16,4	Хлористый кальций, 25%	6,6	15,9
Едкий натр, 50%	3,2	25,8	Хлористый метил	15,0	3,8
Иодистый пропилен	14,1	11,6	Хлористый метилен	14,6	8,9
Иодистый этил	14,7	10,3	Хлористый натрий, 25%	10,2	16,6
Керосин	10,2	16,9	Хлористый пропилен	14,4	7,5
м – Крезол	2,5	20,8	Хлористый сульфурил	15,2	12,4
о – Ксилол	13,5	12,1	Хлористый этил	14,8	60,0
м – Ксилол	13,9	10,6	Хлороформ	14,4	10,2
н – Ксилол	13,9	10,9	Хлорсульфоновая кислота	11,2	18,1
Льняное масло (сырое)	7,5	27,2	о – Хлортолуол	13,0	13,3
н – Масляная кислота	12,1	15,3	м – Хлортолуол	13,3	12,5
изо – Масляная кислота	12,2	14,4	п – Хлортолуол	13,3	12,5
Метилацетат	14,2	8,2	Циклогексанол	2,9	24,3
Метиловый спирт, 100%	12,4	10,5	Четыреххлористый титан	14,4	12,3
Метиловый спирт, 90%	12,3	11,8	Четыреххлористый углерод	12,7	13,1
Метиловый спирт, 40%	7,8	15,5	Этилацетат	13,7	9,1
Метилэтилкетон	13,9	8,6	Этилбензол	13,2	11,5
Муравьиная кислота	10,7	15,8	Этиленгликоль	6,0	23,6
Натрий	16,4	13,9	Этиловый спирт, 100%	10,5	13,8
Нафталин	7,9	18,1	Этиловый спирт, 95%	9,8	14,3
Нитробензол	10,6	16,2	Этиловый спирт, 40%	6,5	16,6
Нитротолуол	11,0	17,0	Этиловый эфир	14,5	5,3
Октан	13,7	10,0	Этилформиат	14,2	8,4

3. Номограмма для определения динамического коэффициента вязкости жидкостей при различных температурах



Жидкость	№ точки	Жидкость	№ точки	Жидкость	№ точки
Амиловый спирт	17	Метиловый спирт, 100 %	26	Терпентин	16
Аммиак	39	» » , 90 %	24	Толуол	27
Анилин	8	» » , 30 %	13	Уксусная кислота, 100 %	18
Ацетон	34	Нафталин	9	» » , 70 %	12
Бензол	25	Нитробензол	14	Фенол	5
Бутиловый спирт	11	Октан	28	Хлорбензол	22
Вода	20	Пентан	38	Хлороформ	29
Гексан	36	Ртуть	15	Четыреххлористый углерод	21
Гептан	31	Серная кислота, 100 %	2	Этилацетат	30
Глицерин, 100 %	1	» » , 98 %	3	Этиленгликоль	4
» 50 %	7	» » , 60 %	6	Этиленхлорид	23
Двуокись углерода	40	Сернистый ангидрид	35	Этиловый спирт, 100 %	19
Диэтиловый эфир	37	Сероуглерод	33	» » 49 %	10
Метилацетат	32				

4. Номограмма для определения вязкости газов и паров при атмосферном давлении

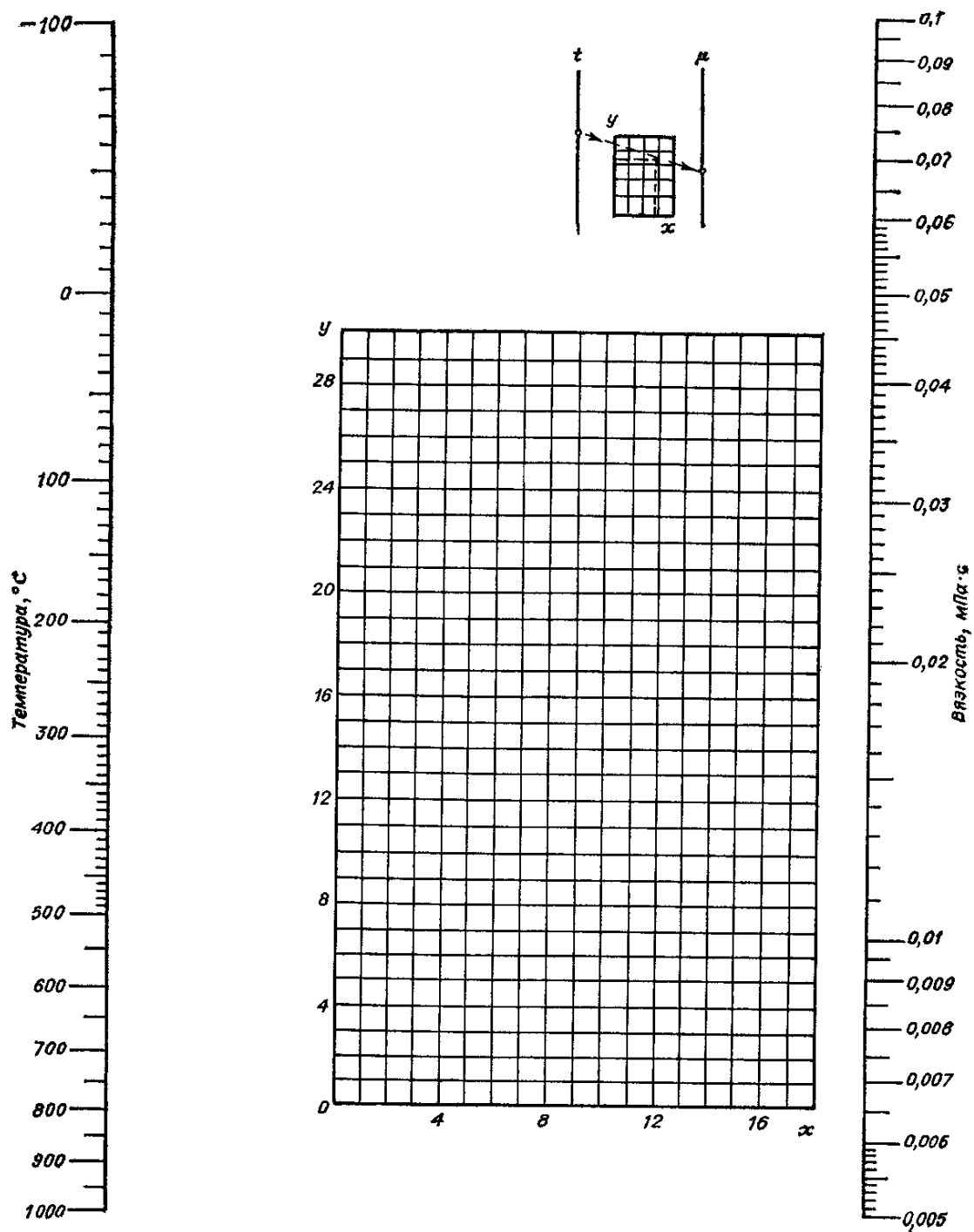
В основе номограммы лежит полуэмпирическая зависимость:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{273,1} \right)^n$$

где μ и μ_0 — динамический коэффициент вязкости газа (пара) при температуре T К и 273,1 К, соответственно; n — эмпирическая константа.

Пользование номограммой. По координатам x и y для заданного газа находят на сетке точку, через которую проводят прямую от заданной точки на шкале температуры до шкалы вязкости.

Примечание. $1 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \text{ Сп} = 10^{-2} \text{ П} = 10^{-3} \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}$.



Газ или пар	x	y	Газ или пар	x	y
Азот	10,6	20,0	Пропан	9,7	12,9
Аммиак	8,4	16,0	Пропилен	9,0	13,8
Аргон	10,5	22,4	Пропиловый спирт	8,4	13,4
Ацетилен	9,8	14,9	Ртуть	5,3	22,9
Ацетон	8,9	13,0	Сероводород	8,6	18,0
Бензол	8,5	13,2	Сероуглерод	8,0	16,0
Бром	8,9	19,2	Толуол	8,6	12,4
Бромистый водород	8,8	20,9	2,3,3 – Триметилбутан	9,5	10,5
Бутан	9,2	13,7	Уксусная кислота	7,7	14,3
Бутилен	8,9	13,0	Фреон – 11 (хладон – 11)	10,6	15,1
Водород	11,2	12,4	Фреон – 12 (хладон – 12)	11,1	16,0
3H ₂ +1N ₂	11,2	17,2	Фреон – 21 (хладон – 21)	10,8	15,3
Вода	8,0	16,0	Фреон – 22 (хладон – 22)	10,1	17,0
Воздух	11,0	20,0	Фреон – 113 (хладон – 113)	11,3	14,0
Гексан	8,6	11,8	Фтор	7,3	23,8
Гелий	10,9	20,5	Хлор	9,0	18,4
Двуокись серы	9,6	17,0	Хлористый водород	8,8	18,7
Двуокись углерода	9,5	18,7	Хлористый нитрозил	8,0	17,6
Закись азота	8,8	19,0	Хлористый этил	8,5	15,6
Йод	9,0	18,4	Хлороформ	8,9	15,7
Йодистый водород	19,0	21,3	Циан	9,2	15,2
Кислород	1,0	21,3	Цианистый водород	9,8	14,9
Ксенон	9,3	23,0	Циклогексан	9,2	12,0
Метан	9,9	15,5	Этан	9,1	14,5
Метиловый спирт	18,5	15,6	Этилацетат	8,5	13,2
Окись азота	10,9	20,5	Этилен	9,5	15,1
Окись углерода	11,0	20,0	Этиловый спирт	9,2	14,2
Пентан	7,0	12,8	Этиловый эфир	8,9	13,0

Таблица 13 – Поверхностное натяжение жидкостей

Жидкость	Температура, °С	Поверхностное натяжение, $\sigma \cdot 10^3$, Н/м
Азот жидкий	–196	8,5
Кислород жидкий	–183	13,2
Оливковое масло	+20	32,0
Парафиновое масло	+25	26,4
Скипидар	+15	27,3

Таблица 14 – Поверхностное натяжение водных растворов

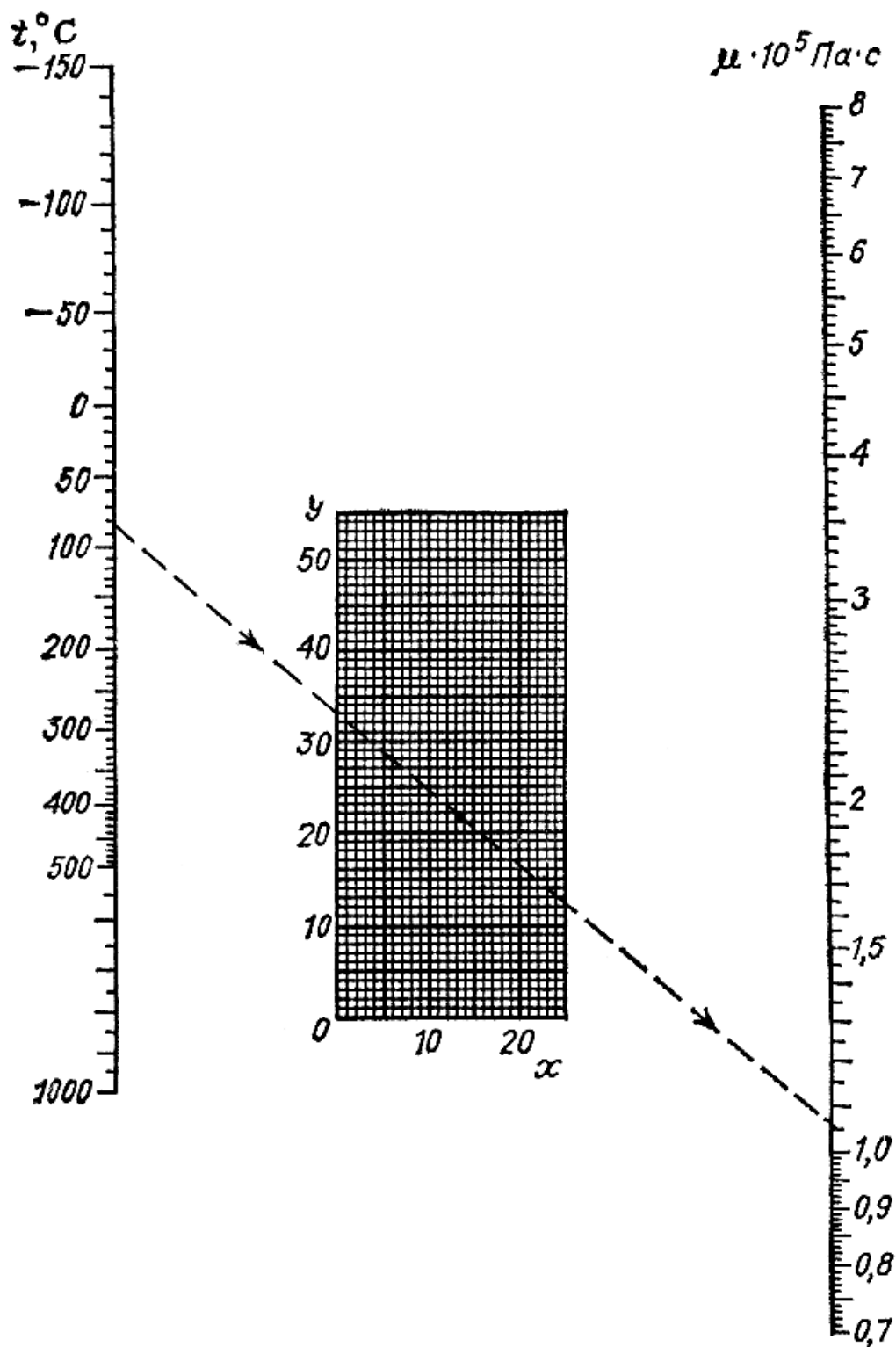
Растворенное вещество	Температура, °С	Значение $\sigma \cdot 10^3$ (Н/м) при различных концентрациях [в % (масс.)]			
		5	10	20	50
Na ₂ SO ₄	18	73,8	75,2	—	—
NaNO ₃	30	72,1	72,8	74,4	79,8
KCl	18	73,6	74,8	77,3	—
KNO ₃	18	73,0	73,6	75,0	—
K ₂ CO ₃	10	75,8	77,0	79,2	106,4
NH ₄ OH	18	66,5	63,5	59,3	—
NH ₄ Cl	18	73,3	74,5	—	—
NH ₄ NO ₃	100	59,2	60,1	61,6	67,5
MgCl ₂	18	73,8	—	—	—

5. Номограмма для определения вязкости газов и паров при атмосферном давлении (экспериментальные данные)

Пользование номограммой. Через точку, полученную при пересечении координат x и y (см. таблицу) для заданного газа или пара, проводят прямую от заданной точки на шкале температуры до шкалы вязкости.

Например, для паров этилового спирта координаты по таблице: $x = 13,5$; $y = 22$. Через полученную точку и точку, соответствующую температуре кипения этилового спирта при атмосферном давлении, $t = 78,3^\circ\text{C}$ проводим прямую до шкалы вязкости. Искомое значение $\mu = 1,065 \cdot 10^{-5}$ Па·с.

Примечание. $1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}) = 10 \text{ П}$.



Газ или пар	x	y	Пределы применимости номограммы, °С	Газ или пар	x	y	Пределы применимости номограммы, °С
Аллиловый спирт	13	15,5	0–600	Октан	12,5	11	0–600
Бензин Б – 70	5	15	100–400	Пентен – 2	13	16	0–200
Бутен – 1	12,5	19,5	0–250	Пиридин	22,5	15,5	100–300
Бутен – 2	13	19	0–350	Природный газ:			
Бутиловый спирт	13	17,5	0–600	бугурусланский	17,5	25,5	0–1000
Газ генераторный:				дашавский	18	24,5	0–1000
из подмосковного угля	19	36,5	0–1000	саратовский	18	24,5	0–1000
из фрезерного торфа	19	38	0–1000	Пропилацетат	12	22	0–200
Газ доменных печей (при работе на коксе)	19	37,5	0–1000	Ртуть	10	52	200–600
Газ подземной газификации углей	19	37	0–1000	Ртуть бромная	13	36	200–700
Гептан	11,5	14	0–600	Ртуть иодная	13	33	200–700
Двуокись азота	13	35,5	–50÷+200	Ртуть хлорная	11	35,5	200–700
Дейтерий	19	28	–100÷+400	Сероокись углерода	16,5	28	0–200
Диметиловый эфир	13,5	23,5	20–200	Силан	14,5	29	0–200
Дифенилметан	14	10,5	100–500	Тиазол	16	22	100–400
Дифениловый эфир	13	11,5	100–500	Тиофен	12,5	22	50–400
Изоамилен	11,5	19,5	0–200	Толуол	14	16,5	0–600
Изобутан	13	18	0–300	2,2,3 – Триметилбутан	15	11,5	50–400
Изобутен	10	23	0–200	Триметилэтилен	11,5	18	0–200
Изобутилацетат	11	24	20–200	Уксусная кислота	9,5	23,5	100–400
Изобутилформиат	11	25	20–200	Фосфористый водород	13,5	30	0–200
Изопентан	12,5	16,5	0–300	Фреон – 11 (хладон – 11)	17	25,5	–50÷+200
Изопропиловый спирт	12,5	20	0–400	Фреон – 12 (хладон – 12)	20	26	–50÷+200
Кадмий	12	47	500–800	Фреон – 21 (хладон – 21)	18	25	–50÷+200
Керосин (топливо Т – 1)	4	21	100–400	Фреон – 22 (хладон – 22)	17	29,5	–50÷+200
Коксовый газ	19,5	22,5	0–1000	Фреон – 113 (хладон – 113)	14,5	25,2	–50÷+150
Криптон	17,5	49	0–600	Хлористый метилен	15,5	24	0–400
Ксенон	16	46,5	0–500	Хлорный нитрозил	12	31,5	0–300
Мезителен	15	10	100–300	Хлористый метил	12,5	28,5	0–600
Метилацетат	12,5	21	0–500	Хлористый этил	13	26	0–300
Метилацетилен	12,5	23	0–200	Циклопропан	11,5	24	0–200
3 – Метилбутен – 4	12	19	0–250	Цинк	12,5	45,5	600–1000
Метилизобутират	12	24	50–200	Четырехбромистое олово	14	29	100–700
Метиловый спирт	12,5	26	0–500	Четыреххлористое олово	14	27	100–700
Метилтиофен	12	20	50–400	Четыреххлористый углерод	14,5	25	0–600
Мышьяковистый водород	13	38,5	0–200	Этан	15	22,5	–50÷+600
Неон	21	54,5	–100÷+900	Этилен	17	24	–50÷+600
Нонан	14,5	6,5	100–400	Этиловый спирт	13,5	22	0–500
				Этиловый эфир	13	18	0–600

Таблица 15 – Поверхностное натяжение жидких веществ и водных растворов в зависимости от температуры

Вещество	Поверхностное натяжение, $\sigma \cdot 10^3$, Н/м							
	–20 °C	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C
Азотная кислота, 100 %	48,3	44,8	41,4	38,2	35,2	32,4	29,8	27,4
Азотная кислота, 50 %	—	68,2	65,4	62,2	58,8	55,2	51,5	47,5
Аммиак жидкий	38	27	21,2	16,8	12,8	—	—	—
Аммиачная вода, 25 %	—	65,7	62,9	59,7	56,3	52,7	49	45
Анилин	—	—	42,9	40,6	38,3	36	33,7	31,4
Ацетон	28,7	26,2	23,7	21,2	18,6	16,2	13,8	11,4
Бензол	—	31,7	29	26,3	23,7	21,3	18,8	16,4
Бутиловый спирт	28	26,2	24,6	22,9	21,2	19,5	17,8	16
Вода	—	75,6	72,8	69,6	66,2	62,6	58,9	54,9
Гексан	22,6	20,5	18,4	16,3	14,2	12,1	10	7,9
Глицерин, 50 %	—	72,4	69,6	66,4	63	59,4	55,7	51,7
Диоксид серы (жидк.)	31	26,8	22,7	18,8	14,8	—	—	—
Диэтиловый эфир	22	19,5	17	14,6	12,4	10,2	8	6,1
Дихлорэтан	37,8	35	32,2	29,5	26,7	24	21,3	18,6
Изопропиловый спирт	24,7	23,2	21,7	20,1	18,5	17	15,5	14
Кальций хлористый, 25% раствор	89,4	86,6	83,8	80,6	77,2	73,6	69,9	65,9
Метиловый спирт, 100 %	26,6	24,5	22,6	20,9	19,3	17,6	15,7	13,6
Муравьиная кислота	—	39,8	37,6	35,5	33,3	31,2	29	26,8
Натр едкий, 50 % раствор	—	—	130	130	129	129	128	128
» » 40 % »	—	—	108	108	107	107	106	106
» » 30 % »	—	—	97	96,4	95,8	95,3	94,4	93,6
» » 20 % »	—	—	85,8	85	84,7	83,2	81,3	79,6
» » 10 % »	—	—	77,3	76,1	75	73	70,7	69
Натрий хлористый, 20 % раствор	—	82,6	79,8	76,6	73,2	69,6	65,9	61,9
Нитробензол	—	46,4	43,9	41,4	39	36,7	34,4	32,2
Октан	25,8	23,8	21,8	19,8	17,9	15,9	13,9	11,9
Серная кислота, 98 %	—	55,9	55,1	54,3	53,7	53,1	52,5	51,9
» » 92 %	63	61,9	60,9	60,9	60,3	59,7	59,1	58,5
» » 75 %	74,1	73,6	73,1	72,6	72,1	71,6	71,1	70,6
» » 60 %	77,3	76,7	76,1	75,4	74,5	73,6	72,7	71,8
Сероуглерод	38,3	35,3	32,3	29,4	26,5	23,6	20,7	17,8
Соляная кислота, 30 %	—	72,6	69,8	66,6	63,2	59,6	55,9	51,9
Толуол	33	30,7	28,5	26,2	23,8	21,5	19,4	17,3
Уксусная кислота, 100 %	—	29,7	27,8	25,8	23,8	21,8	19,8	18
» » 50 %	—	43	40	37	33	30	27	24
Фенол (расплавленный)	—	43,1	40,9	38,8	36,6	34,4	32,2	30
Хлорбензол	38,4	36	33,6	31,1	28,8	26,5	24,1	21,8
Хлороформ	32,8	30	27,2	24,4	21,7	19	16,3	13,6
Четыреххлористый углерод	31	29,5	26,9	24,5	22	19,6	17,3	15,1
Этилацетат	29,5	26,9	24,3	21,7	19,2	16,8	14,4	12,1
Этиловый спирт, 100 %	25,7	24	22,3	20,6	19	17,3	15,5	13,4
» » 80 %	—	26	25	23	21	20	18	16
» » 60 %	—	28	27	25	23	22	20	18
» » 40 %	—	32	30	28	26	24	22	19
» » 20%	—	40	38	36	33	31	29	27

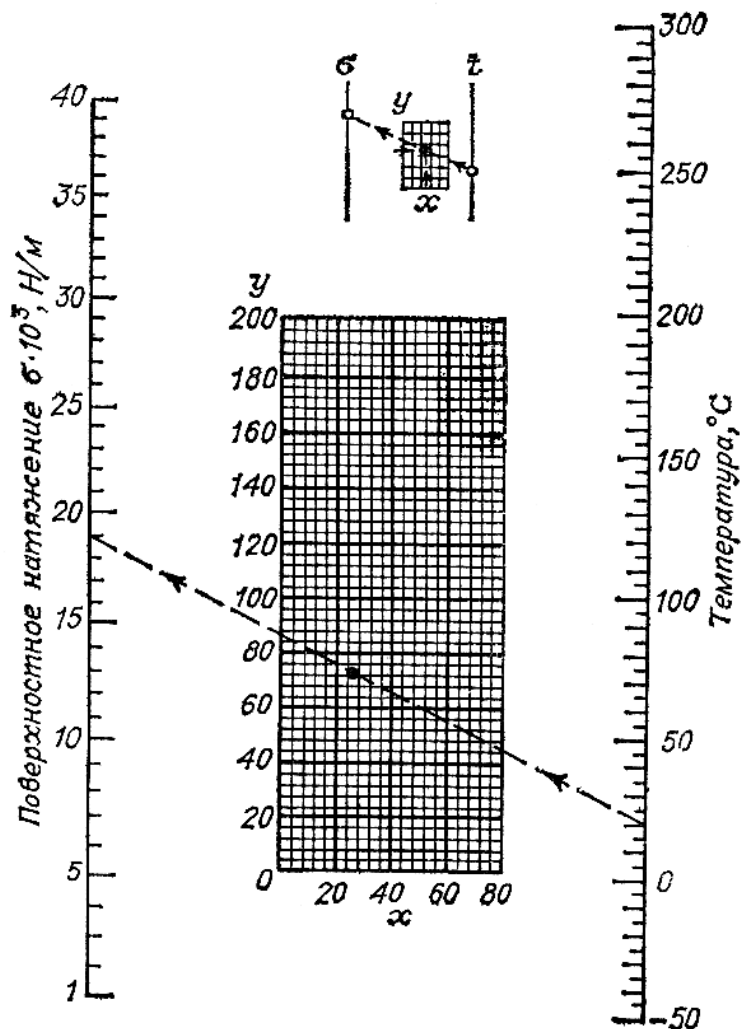
6. Номограмма для определения поверхностного натяжения σ органических жидкостей

Номограмма построена на основе экспериментальных данных.

Пользование номограммой. По координатам x и y для заданного вещества находят на сетке точку, через которую проводят прямую от заданной точки на шкале температуры до шкалы поверхностного натяжения.

Например, дано: $x=22,7$, $y = 72,2$ (гексан), $t = 20^\circ\text{C}$; находим $\sigma = 0,019 \text{ Н/м}$.

Примечание. $1\text{Н/м} = 1\text{Дж/м}^2 = 103\text{эрг/см}^2 = 10^3 \text{дин/см}$.



Жидкость	x	y	Жидкость	x	y			
Аллиловый спирт	12	111,5	Бензол	30	110	Диэтилсульфат	19,5	139,5
изо – Амилацетат	16,4	103,1	Бензонитрил	19,5	159	Закись азота	62,5	0,5
изо – Амиловый спирт	6	106,8	Бромистый этил	31,6	1	Иодистый этил	28	113,2
Аммиак	56,2	63,6	изо – Бутилацетат	16	97,2	n – Ксилол	19	117
Анетол	13	158,1	n – Бутиловый спирт	9,6	107,5	m – Ксилол	20,5	118
Анизол	24,4	138,9	изо – Бутиловый спирт	5	103	o – Крезол	20	161
Анилин	22,9	171,8	n – Бутиронитрил	20,3	113	m – Крезол	13	161,2
Ацеталь	19	88	Дихлорэтан	32	120	n – Крезол	11,5	160,5
Ацетальдегид	33	78	Диэтиланилин	17	142,6	n – Масляная кислота	14,5	115
Ацетальдоксим	23,5	127	Диэтилкетон	20	101	изо – Масляная кислота	14,8	107,4
Ацетамид	17	192,5	Диэтилоксалат	20,5	130,8	Мезитилен	17	119,8
Ацетон	28	91	n – Гексан	22,7	72,2	Метиламин	42	58
Ацетонитрит	33,5	111	Диметиламин	16	66	Метилацетат	34	90
Ацетофенон	18	163	Диметиланилин	20	149	n – Метилбутират	25	88
Бензиламин	25	156	Диметилсульфат	23,5	158	изо – Метилбутират	24	93,8

Продолжение таблицы к номограмме

Метиловый спирт	17	93	Пропионовая кислота	17	112	<i>n</i> – Хлоробромбензол	14	162
Метиловый эфир	44	37	Сероуглерод	35,8	117,2	Хлорокись фосфора	26	125,2
Метилпропионат	29	95	Синильная кислота	30,6	66	Хлороформ	32	101,3
Метилформиат	38,5	88	Тиофен	35	121	<i>n</i> – Хлортолуол	18,7	134
Метилэтилкетон	23,6	97	Толуол	24	113	Циклогексан	42	86,7
Нафталин	22,5	165	Триметиламин	21	57,6	Четыреххлористый углерод	26	104,5
Нитрометан	30	139	Трипальмитин	2	151	Этиламин	11,2	83
Нитроэтан	25,4	126,1	Трифенилметан	12,5	182,7	Этилацетат	27,5	92,4
Окись этилена	42	83	Триэтиламин	20,1	83,9	Этилацетоацетат	21	132
<i>n</i> – Октан	17,7	90	Уксусная кислота	17,1	116,5	Этилбензоат	14,8	151
Паральдегид	22,3	103,8	Уксусный ангидрид	25	129	Этилбензол	22	118
Пипиридин	24,7	120	Фенетол	20	134,2	<i>n</i> – Этилбутират	17,5	102
Пиридин	34	138,2	Фенол	20	168	изо – Этилбутират	20,9	93,7
<i>n</i> – Пропиламин	25,5	87,2	Хинолин	19,5	183	Этилмеркаптан	35	81
<i>n</i> – Пропилацетат	23	97	Хлор	45,5	59,2	Этиловый спирт	10	97
<i>n</i> – Пропиловый спирт	8,2	105,2	Хлораль	30	113	Этиловый эфир	27,5	64
изо – Пропилтолуол	12,8	121,2	Хлорбензол	23,5	132,5	Этилпропионат	22,6	97
<i>n</i> – Пропилформиат	24	97	Хлористый метил	45,8	53,2	Этилформиат	30,5	88,8
Пропионитрил	23	108,6	Хлористый нитрозил	38,5	93			

7. Номограмма для определения расхода жидкости или газа в трубопроводах круглого сечения

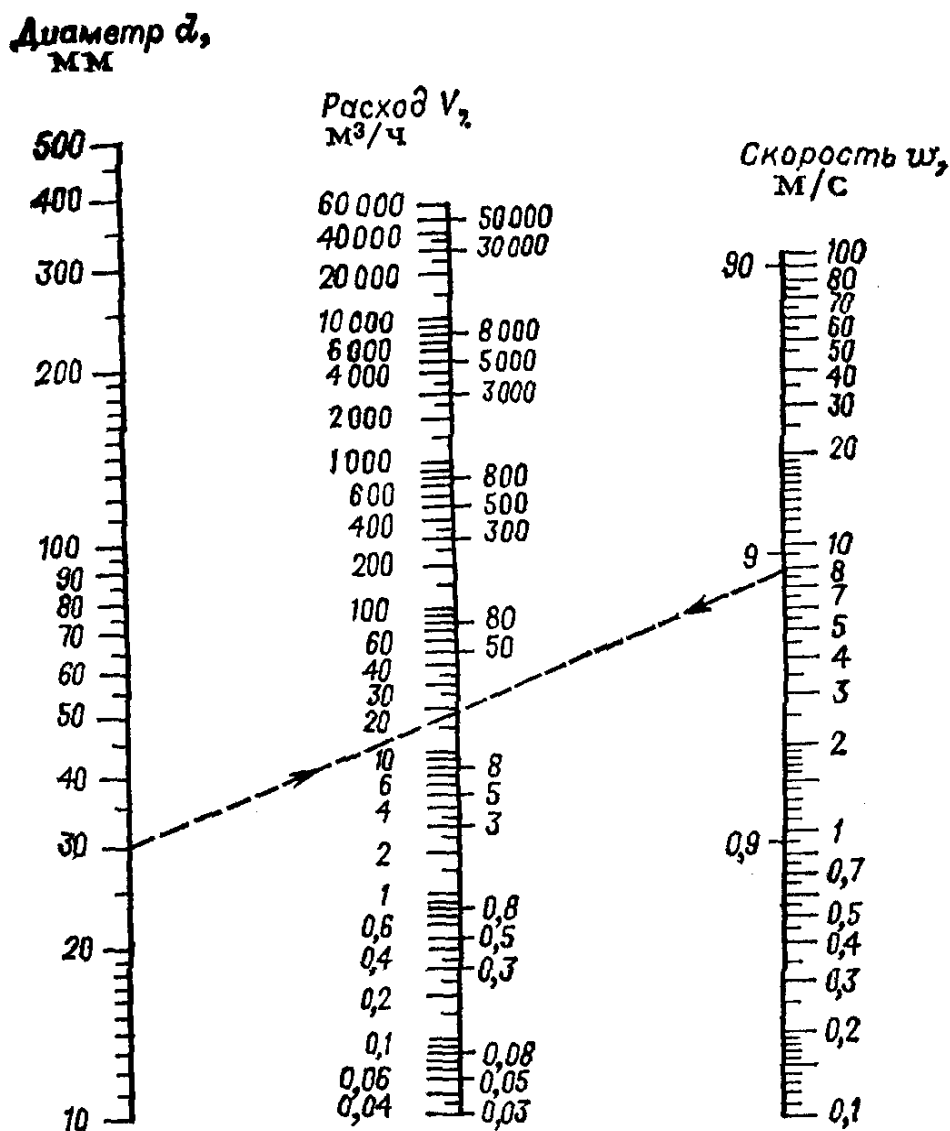


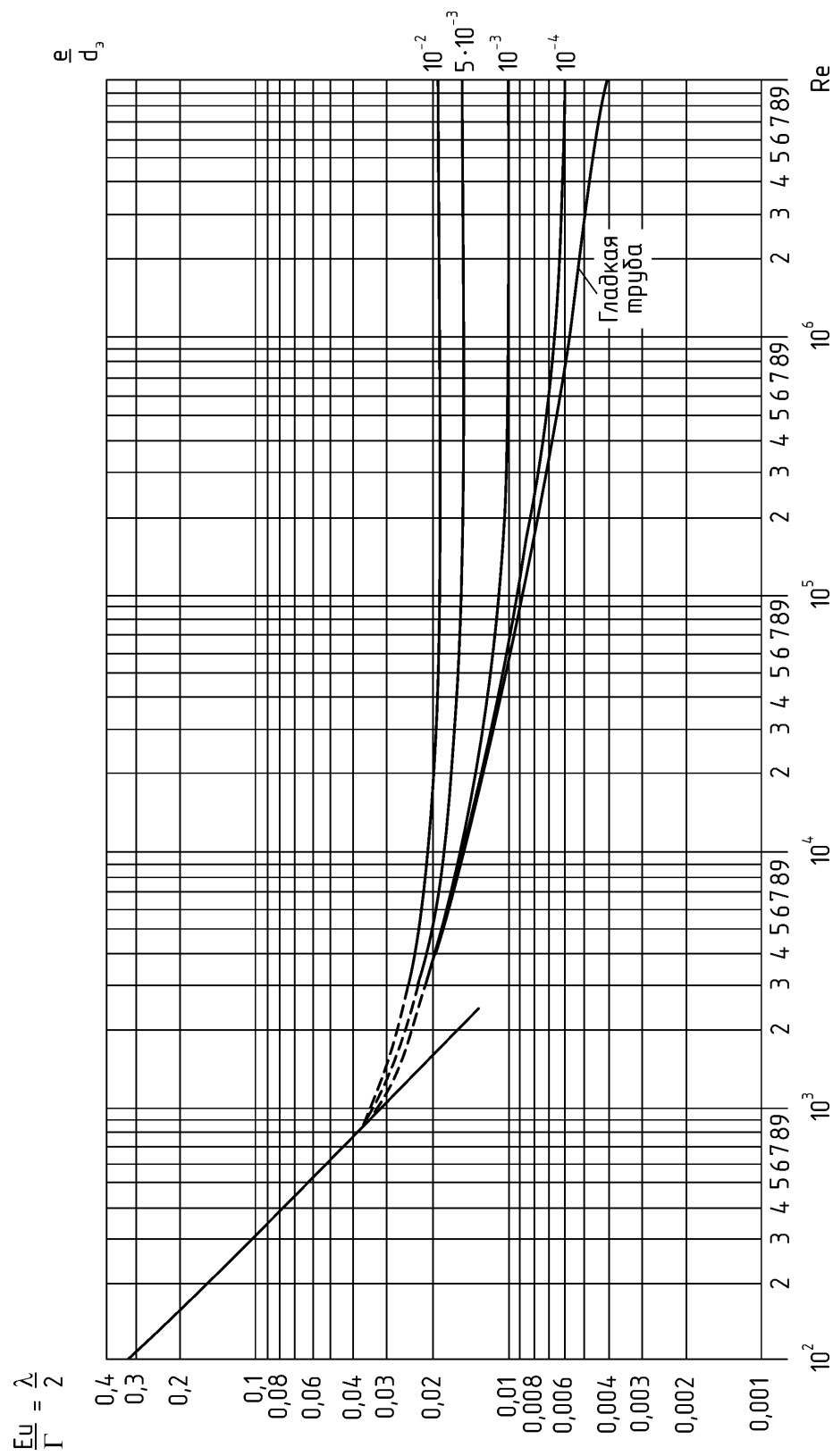
Таблица 16 – Среднее значение шероховатости стенок труб

Трубопроводы	ϵ , мм
Трубы стальные цельнотянутые и стальные при незначительной коррозии	0,2
Старые заржавленные стальные трубы	0,67 и выше
Трубы из кровельной стали проолифенные	0,125
Чугунные трубы водопроводные, бывшие в эксплуатации	1,4
Алюминиевые технически гладкие трубы	0,015 – 0,06
Чистые цельнотянутые трубы из латуни, меди и свинца; стеклянные трубы	0,0015 – 0,01
Бетонные трубы; хорошая поверхность с затиркой	0,3 – 0,8
Бетонные трубы; грубая (шероховатая) поверхность	3 – 9
Нефтепроводы при средних условиях эксплуатации и паропроводы насыщенного пара	0,2
Паропроводы, работающие периодически	0,5
Воздухопроводы сжатого воздуха от компрессора	0,8
Конденсатопроводы, работающие периодически	1,0

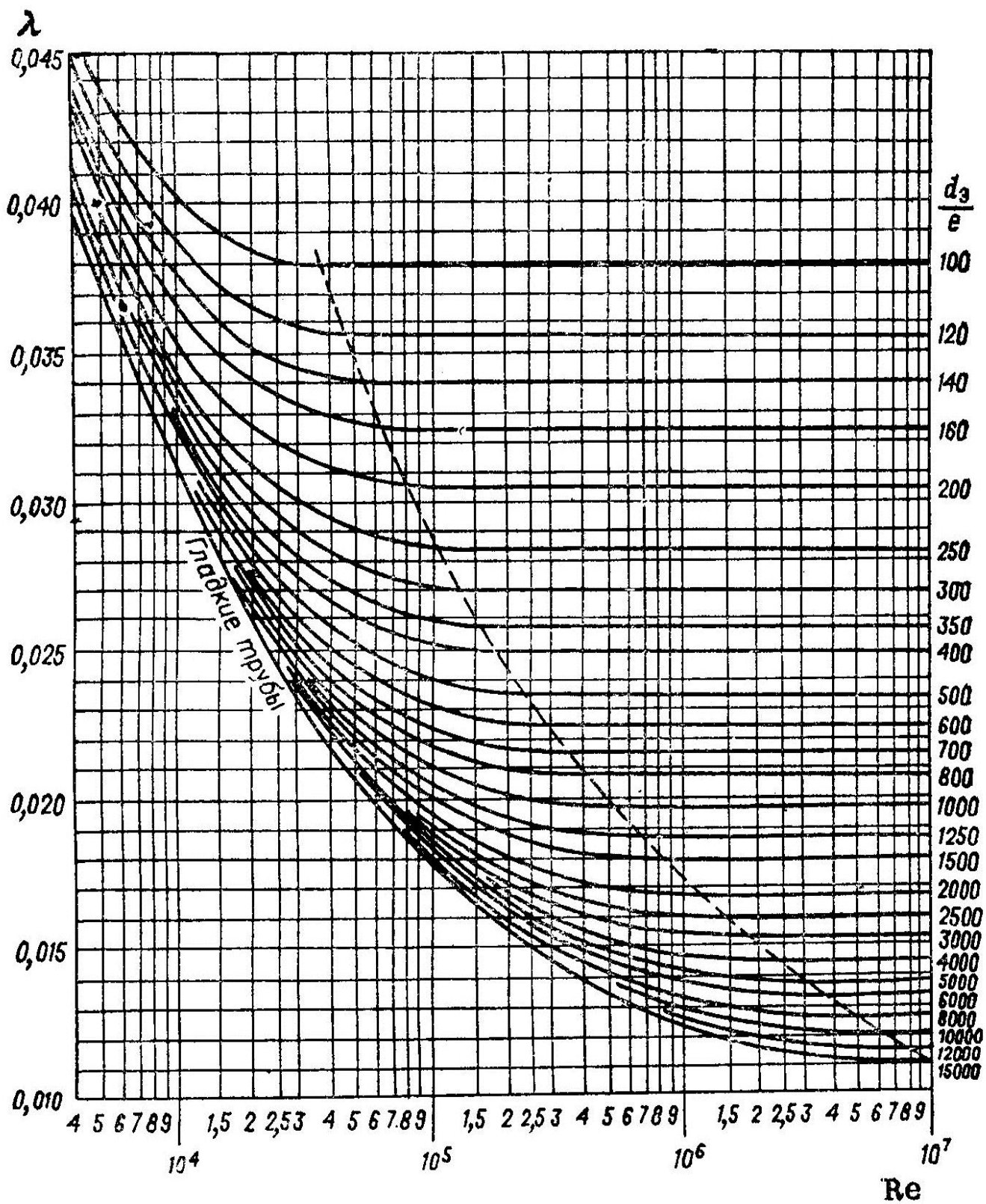
Таблица 17 – Поверхностное натяжение воды на границе с органическими жидкостями, дин/см

Вещество	Температура, °C						
	0	10	18	20	25	30	40
Альдегид гептиловый	10,78	12,51		13,74		14,41	14,82
Анилин	—	—	—	—		6,00	—
Бензил хлористый	—	—	—	—	27,1	—	—
Бензин	—	—	—	48,3		—	—
Бензол	—	35,56	—	34,96	34,7	34,34	33,84
Гексан	—	51,25	—	51,1		50,66	50,48
Гептан	—	—	—	—	50,39	—	—
Диметиланилин	—	—	—	—	25,57	—	—
Керосин	—	—	—	48,3	—	45,0	—
Кислота гептиловая	8,34	7,93	—	7,54	—	7,13	7,0
уксусная	—	—	—	—	—	3,6	—
Ксилол	—	—	—	—	—	36,4	—
Нитробензол	—	—	24,7	—	—	24,10	—
Октан	—	51,01		50,81	—	—	49,58
Сероуглерод	—	—	49,3	38,3	—	46,31	—
Спирт амиловый	—	—	4,8	—	—	4,86	—
бутиловый	—	—		1,58	—	—	—
изоамиловый	—	—	4,42	5,4	—	—	—
изобутиловый	—	—	1,76		—	—	—
октиловый	7,75	—	—	8,5	—	8,97	9,32
октиловый вторич.	8,44	8,80	—	9,24	—	9,65	10,04
Толуол	—	—	—	—	—	34,6	—
Углерод четыреххлористый	46,97	45,97	—	45,05	—	44,04	43,04
Фурфурол	—	—	—	—	—	5,13	—
Хлорбензол	—	—	—	—	—	37,15	—
Хлороформ	—	32,17	33,3	27,7	—	31,4	—
Этилен бромистый	—	38,28	—	37,20	—	36,08	35,03
Эфир диэтиловый	—	10,19	10,6	9,7	—	11,13	—

8. Зависимость отношения $(Eu/\Gamma) = (\lambda/2)$ от критерия Re и относительной шероховатости ε/d_3

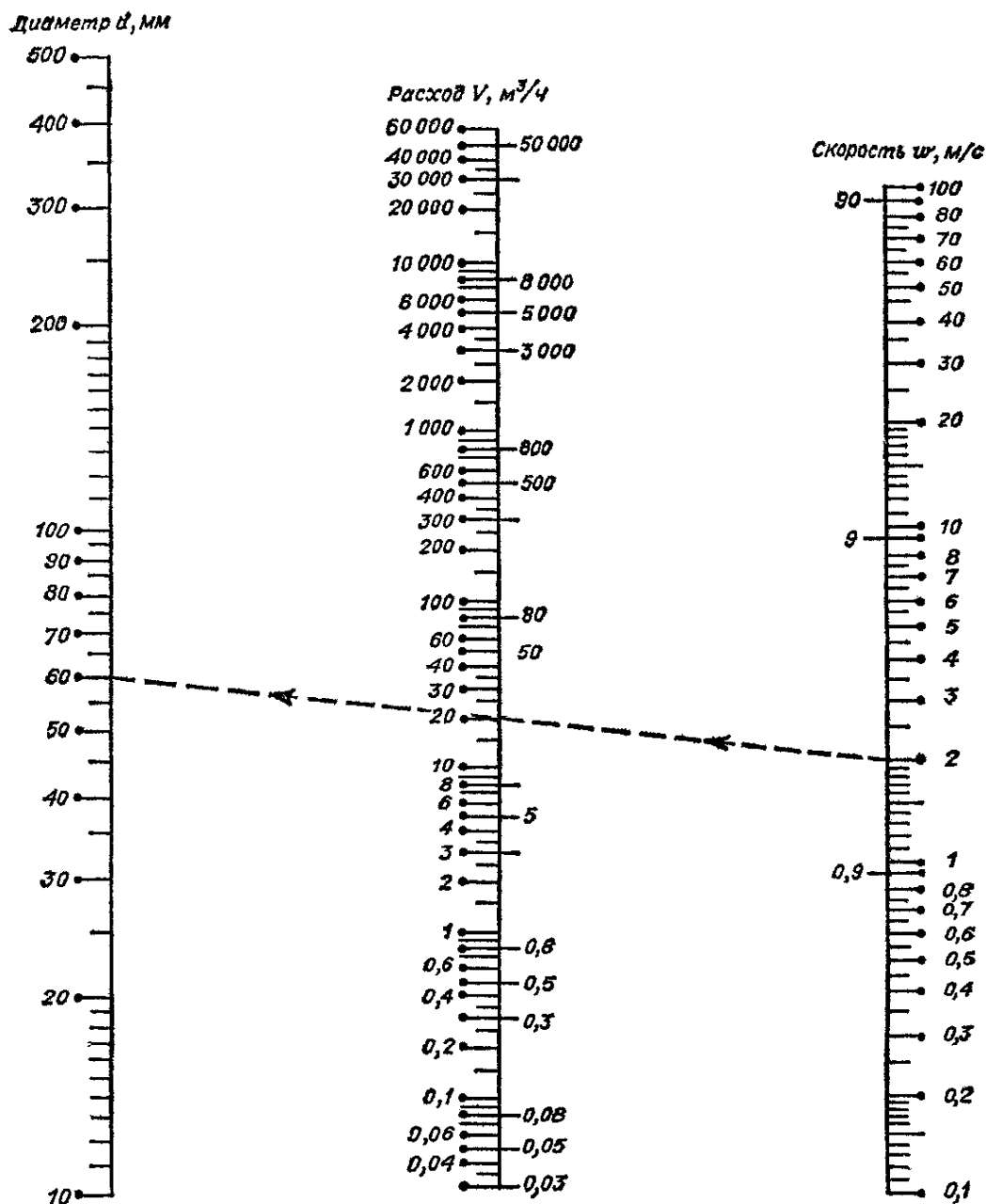


9. Зависимость коэффициента λ от критерия Re и степени шероховатости e/d ,
 (d – эквивалентный диаметр, м; e – средняя высота выступов шероховатости на внутренней
 поверхности стенки трубы, м)

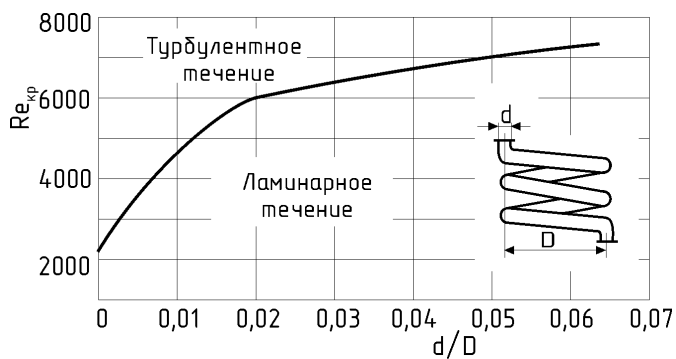


10. Диаграмма для определения коэффициента трения λ в трубах при различной шероховатости стенок

Диаграмма дает зависимость коэффициента трения λ от критерия Рейнольдса Re при различной степени шероховатости d/e_z (где d – внутренний диаметр трубы, e_z – так называемая эквивалентная, или зернистая, шероховатость).



11. Зависимость $Re_{кр}$ в змеевиках от отношения d/D



12. Зависимость отношения w/w_{\max} от критерия Re

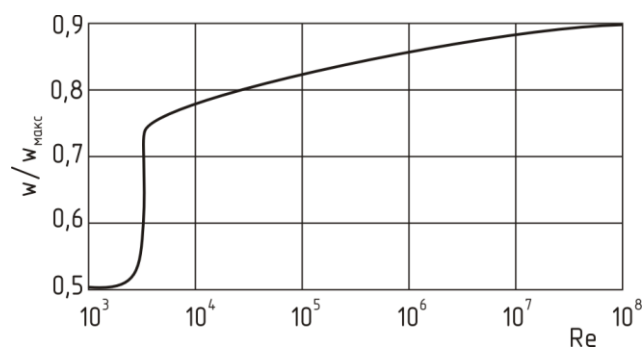
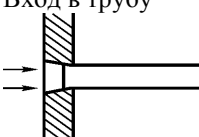
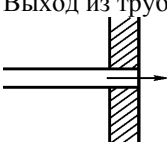
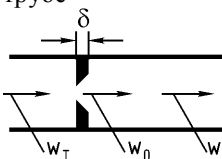
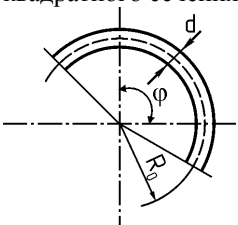


Таблица 18 – Коэффициенты местных сопротивлений

Вид сопротивления	Значение коэффициента местного сопротивления ζ											
Вход в трубу 	С острыми краями: $\zeta = 0,5$ С закругленными краями: $\zeta = 0,2$											
Выход из трубы 	$\zeta = 1$											
Диафрагма (отверстие) с острыми краями в прямой трубе  d_0 – диаметр отверстия диафрагмы, м; δ – толщина диафрагмы, м; w_0 – средняя скорость потока в отверстии, м/с; w_T – средняя скорость потока в трубе, м/с; $m = \left(\frac{d_0}{D} \right)^5$; D – диаметр трубы, м	При $\frac{\delta}{d_0} = 0 \div 0,015$ потеря давления $\Delta p = \zeta \frac{\rho w_T^2}{2}$. Значение ζ определяется по таблице											
	m	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
	ζ	7000	1670	730	400	245	165	117	86,0	65,5	51,5	40,0
	m	0,24	0,26	0,28	0,30	0,34	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	ζ	32,0	26,8	22,3	18,2	13,1	8,25	4,00	2,00	0,97	0,42	0,13
Отвод круглого или квадратного сечения  d – внутренний диаметр трубопровода, м; R_0 – радиус изгиба трубы, м	Коэффициент сопротивления $\zeta=AB$ определяется по таблицам:											
	Угол ϕ , градусы	20	30	45	60	90	110	130	150	180		
	A	0,31	0,45	0,6	0,78	1,0	1,13	1,20	1,28	1,40		
	R_0/d	1,0	2,0	4,0	6,0	15	30	50				
	B	0,21	0,15	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03				
Колено (угольник) 90° стандартный чугунный	Условный проход, мм				12,5	25	37	50				
	ζ				2,2	2	1,6	1,1				
Вентиль нормальный	Значение ζ при полном открытии вентиля:											
	D, мм	13	20	40	80	100	150	200	250	350		
	ζ	10,8	8,0	4,9	4,0	4,1	4,4	4,7	5,1	5,5		
Вентиль прямооточный	При $Re = \frac{wD}{\nu} \geq 3 \cdot 10^5$ значение ζ определяется по таблице:											
	D, мм	25	38	50	65	76	100	150	200	250		
	ζ	1,04	0,85	0,79	0,65	0,60	0,50	0,42	0,36	0,32		
	При $Re < 3 \cdot 10^5$ коэффициент сопротивления $\zeta=\zeta_1 K$, Значение ζ_1 определяется так же, как и при $Re \geq 3 \cdot 10^5$, а значение K приведено в таблице:											
	Re	5000	10000	20000	50000	100000	200000	300000				
	K	1,40	1,07	0,94	0,88	0,91	0,93	1				

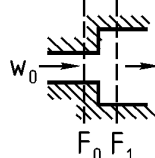
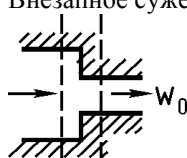
Кран пробочный	Условный проход, мм	13	19	25	35	38	50 и выше
	ζ	4	2	2	2	2	2
Задвижка	Условный проход, мм	15–100		175–200		300 и выше	
	ζ	0,5		0,25		0,15	
Внезапное расширение							
							
F_0 – площадь меньшего поперечного сечения, м ² ; w_0 – скорость потока в меньшем сечении, м/с; F_1 – площадь большего поперечного сечения, м ² ; $Re = \frac{w_0 d_3}{\nu}$; $\Delta p_{расш} = \zeta \left(\frac{\rho w_0^2}{2} \right)$	$Re = \frac{w_0 d_3}{\nu}$	F_0 / F_1					
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
10	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
100	1,70	1,40	1,20	1,10	0,90	0,80	
1000	2,0	1,60	1,30	1,05	0,90	0,60	
3000	1,00	0,70	0,60	0,40	0,30	0,20	
3500 и более	0,81	0,64	0,50	0,36	0,25	0,16	
Внезапное сужение							
							
F_0 – площадь меньшего поперечного сечения, м ² ; w_0 – скорость потока в меньшем сечении, м/с; F_1 – площадь большего поперечного сечения, м ² ; $Re = \frac{w_0 d_3}{\nu}$; $\Delta p_{ж} = \zeta \left(\frac{\rho w_0^2}{2} \right)$	$Re = \frac{w_0 d_3}{\nu}$	F_0 / F_1					
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
10	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	
100	1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80	
1000	0,64	0,50	0,44	0,35	0,30	0,24	
10000	0,5	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	
>10000	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	

Таблица 19 – Значение эквивалентного диаметра и коэффициента A в уравнении $\lambda = A/Re$ при ламинарном режиме для различных сечений

Форма сечения	d_3	A
Круг диаметром d	d	64
Квадрат со стороной a	a	57
Равносторонний треугольник со стороной a	$0,58a$	53
Кольцо шириной a	$2a$	96
Прямоугольник со сторонами a и b : $a/b \approx 0$	$2a$	96
$a/b = 0,1$	$1,81a$	85
$a/b = 0,25$	$1,6a$	73
$a/b = 0,5$	$1,3a$	62
эллипс (a – малая полуось, b – большая полуось): $a/b = 0,1$	$1,55a$	78
$a/b = 0,3$	$1,4a$	73
$a/b = 0,5$	$1,3a$	68

Таблица 20 – Значение коэффициентов расхода диафрагмы

$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu}$	$m = 0,05$	$m = 0,1$	$m = 0,2$	$m = 0,3$	$m = 0,4$	$m = 0,5$	$m = 0,6$	$m = 0,7$
5000	0,6032	0,6110	0,6341	—	—	—	—	—
10000	0,6026	0,6092	0,6261	0,6530	0,6890	0,7367	0,7975	—
20000	0,5996	0,6050	0,6212	0,6454	0,6765	0,7186	0,7753	0,8540
30000	0,5990	0,6038	0,6187	0,6403	0,6719	0,7124	0,7650	0,8404
50000	0,5984	0,6032	0,6168	0,6384	0,6666	0,7047	0,7553	0,8276
100000	0,5980	0,6026	0,6162	0,6359	0,6626	0,6992	0,7472	0,8155
400000	0,5978	0,6020	0,6150	0,6340	0,6600	0,6950	0,7398	0,8019

d – внутренний диаметр трубопровода, м; w – средняя скорость жидкости или газа в трубопроводе, м/с; d_0 – диаметр отверстия нормальной диафрагмы, м; $m = (d_0/d)^2$.

Таблица 21 – Значение поправочного множителя k , при расчете расхода через нормальную диафрагму

Диаметр трубопровода, м	$m = 0,1$	$m = 0,2$	$m = 0,3$	$m = 0,4$	$m = 0,5$	$m = 0,6$	$m = 0,7$
0,05	1,0037	1,0063	1,0082	1,0118	1,0144	1,0172	1,02
0,10	1,0024	1,0045	1,0064	1,0065	1,0108	1,013	1,0148
0,20	1,0017	1,0023	1,0034	1,004	1,0052	1,006	1,007
0,30	1,0005	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001

$m = (d_0/d)^2$.

Таблица 22 – Характеристика скрубберных насадок из колец и кускового материала

Вид насадки	Размеры элемента насадки, мм	Число элементов в 1 м ³ объема, заполненного насадкой	Свободный объем, м ³ /м ³	Удельная поверхность, м ² /м ³	Масса 1 м ³ насадки, кг
Кольца фарфоровые	8×8×1,5	1 465 000	0,64	570	600
» керамические	15×15×2	250 000	0,70	330	690
» »	25×25×3	53 200	0,74	204	532
» »	35×35×4	20 200	0,78	140	505
» »	50×50×5	6 000	0,785	87,5	530
» стальные	35×35×2,5	19 000	0,83	147	—
» »	50×50×1	6 000	0,95	110	430
Гравий круглый	42	14 400	0,388	80,5	—
Андезит кусковой	43,2	12 600	0,565	68	1200
Кокс кусковой	42,6	14 000	0,56	77	455
» »	40,8	15 250	0,545	86	585
» »	28,6	27 700	0,535	110	660
» »	24,4	64 800	0,532	120	600
Катализатор синтеза аммиака в кусочках	6,1	5 200 000	0,465	960	2420
Катализатор конверсии СО в таблетках	$d = 11,5; h = 6$	1 085 000	0,38	460	1100
Катализатор сернокислотный (ванадиевый) в таблетках	$d = 11; h = 6,5$	1 000 000	0,43	415	614

Таблица 23 – Характеристика хордовых насадок (деревянные рейки)

Сечение рейки	Размеры сечения, мм	Расстояние между рейками, мм	Расстояние между рядами реек, мм	Удельная поверхность м ² /м ³
Прямоугольное	12,5×100	25,0	20	50
	12,5×100	12,5	20	75
	12,5×100	10,0	20	89
Треугольное	30×30×30	30	12,5	78

Таблица 24 – Зависимость атмосферного давления от высоты над уровнем моря
Пересчет в СИ: 1 м вод. ст. = 9810 Па.

Высота над уровнем моря, м	–600	0	+100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500
Атмосферное давление A , м вод. ст	11,3	10,3	10,2	10,1	10	9,8	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,2	8,6

Таблица 25 – Допустимая высота всасывания (в м) при перекачивании воды поршневыми насосами

Частота вращения насоса, об/мин	Температура воды, °C						
	0	20	30	40	50	60	70
50	7	6,5	6	5,5	4	2,5	0
60	6,5	6	5,5	5	3,5	2	0
90	5,5	5	4,5	4	2,5	1	0
120	4,5	4	3,5	3	1,5	0,5	0
150	3,5	3	2,5	2	0,5	0	0
180	2,5	2	1,5	1	0	0	0

Таблица 26 – Значения постоянных c и m для различных типов мешалок.

Тип мешалки	Геометрическая характеристика			Значения постоянных		Примечание
	H_0/d	D/d	h/d	c	m	
Двухлопастная	2	2	0,36	111,0 14,35	1,0 0,31	Re < 20 Re = 10045·10 ⁴
» »	3	3	0,33	6,8	0,2	
Двухлопастная с лопастями под углом 45°	3	3	0,33	4,05	0,2	
Четырехлопастная	3	3	0,33	8,52	0,2	
Четырехлопастная с лопастями, наклонными вверх под углом 45°	3	3	0,33	5,05	0,2	
Четырехлопастная с лопастями, наклонными вверх под углом 60°	3	3	0,33	6,30	0,18	
Якорная двухлопастная	1,11	1,11	0,11	6,2	0,25	
Якорная четырехлопастная	1,11	1,11	0,11	6,0	0,25	Форма лопасти круглая
Пропеллерная двухлопастная с углом наклона 25,5°	3	3	0,33	0,985	0,15	
Пропеллерная трехлопастная	3,5	3,8	1	230 4,63 1,19	1,67 0,35 0,15	Re < 30 Re < 3·10 ³ Re > 3·10 ³
Турбинная трехлопастная с входным отверстием 37 мм	3	3	0,33	3,90	0,2	
Турбинная шестилопастная с направляющим аппаратом	1,78	2,4	0,25	5,98	0,15	

13. Диаграмма зависимости критерия Лященко от критерия Архимеда.

Диаграмма составлена на основе приближенной эмпирической формулы:

$$Re = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}}.$$

Критерий Лященко:

$$Ly = \frac{Re^3}{Ar} = \frac{w^3 \rho_c}{v_c (\rho - \rho_c) g}.$$

Критерий Архимеда:

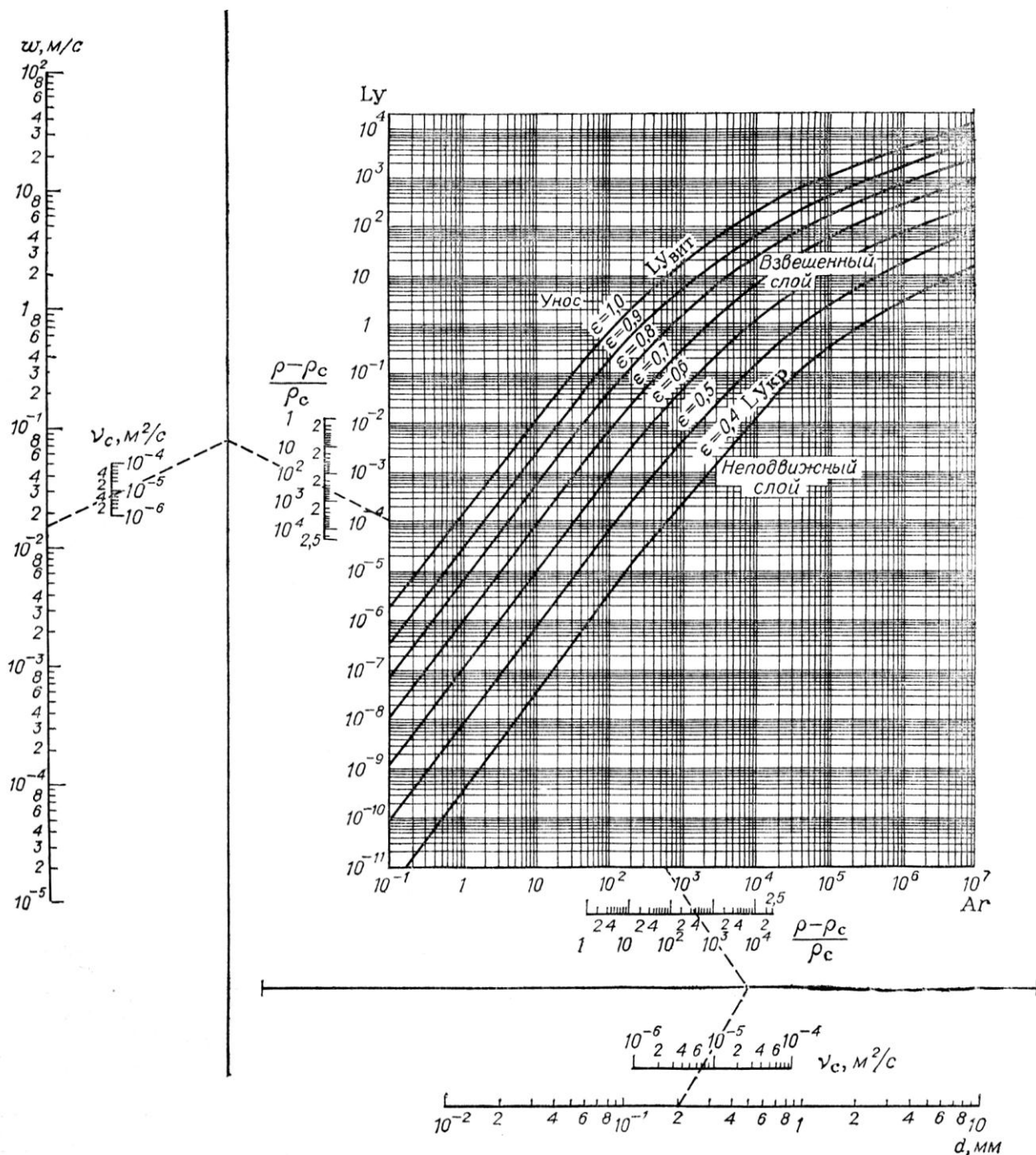
$$Ar = \frac{Re^2(\rho - \rho_c)}{Fr \rho_c} = \frac{d^3(\rho - \rho_c)g}{\nu_c^2 \rho_c}$$

Здесь w – скорость среды (для однородного взвешенного слоя) или скорость витания частиц (по верхней кривой), м/с; ρ и ρ_c – плотность частиц и среды, соответственно, кг/м³; d – диаметр частиц, м; μ_c – динамический коэффициент вязкости среды, Па·с; $\nu_c = \mu_c / \rho$ – кинематический коэффициент вязкости среды, м²/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; ε – порозность слоя (в долях единицы).

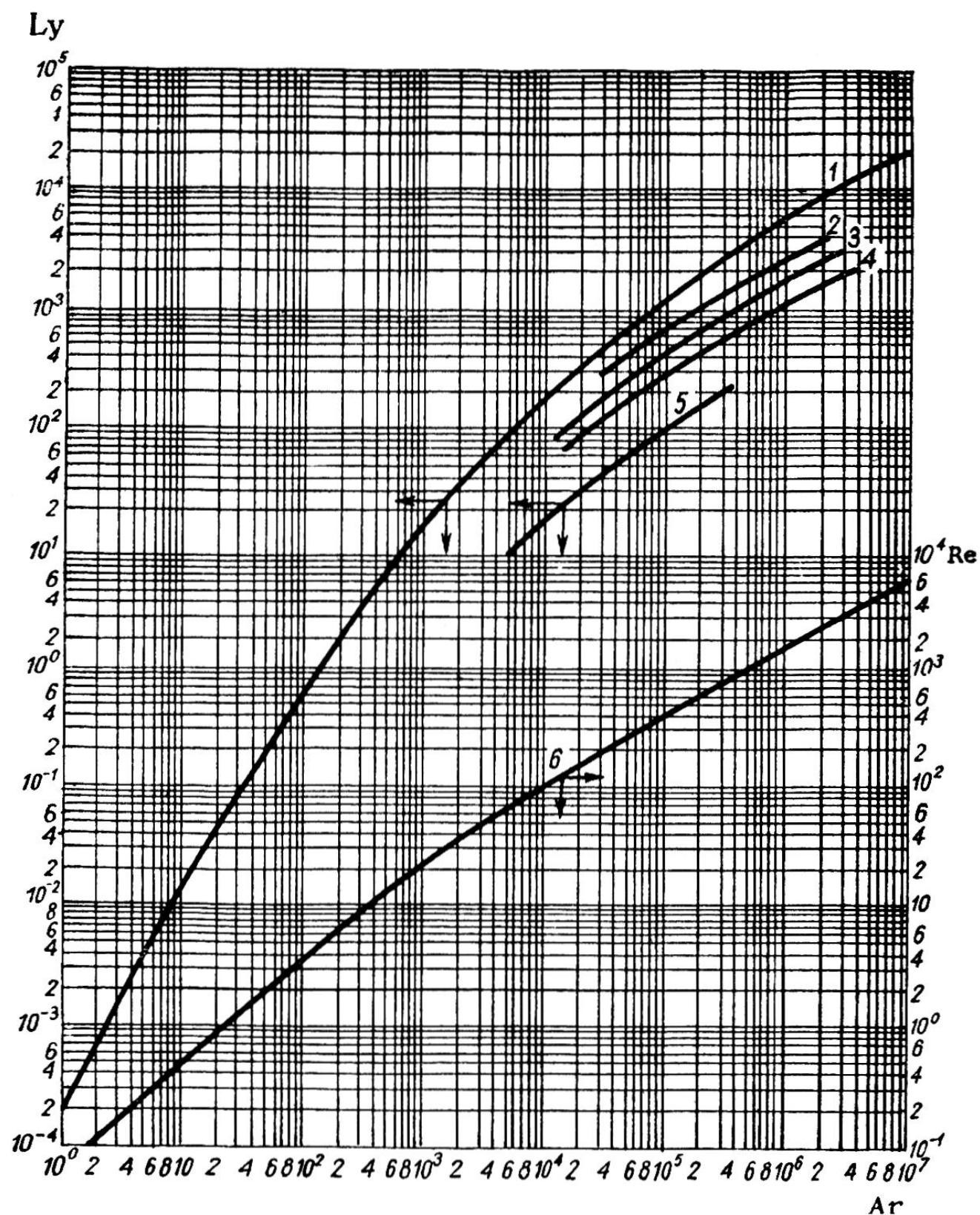
На диаграмме дана зависимость критерия Лященко Ly от критерия Архимеда Ar при различной порозности слоя ($\varepsilon = 0,4 \div 1$).

Диаграмма позволяет определить диаметр сферических частиц, скорость среды и порозность взвешенного слоя, а также скорость осаждения частиц в неподвижной среде (по верхней кривой). Для приближенных расчетов у осей координат построены номографические шкалы для w , d , ν_c и $(\rho - \rho_c) / \rho_c$.

Схема пользования показана пунктиром. Например, дано: $d = 0,2$ мм, $\nu_c = 7 \cdot 10^{-6}$ м²/с, и $(\rho - \rho_c) / \rho_c = 4 \cdot 10^{-2}$; находим $Ar = 6 \cdot 10^2$, $Ly_{кр} = 10^{-4}$ и $w_{кр} = 1,5 \cdot 10^{-2}$ м/с.

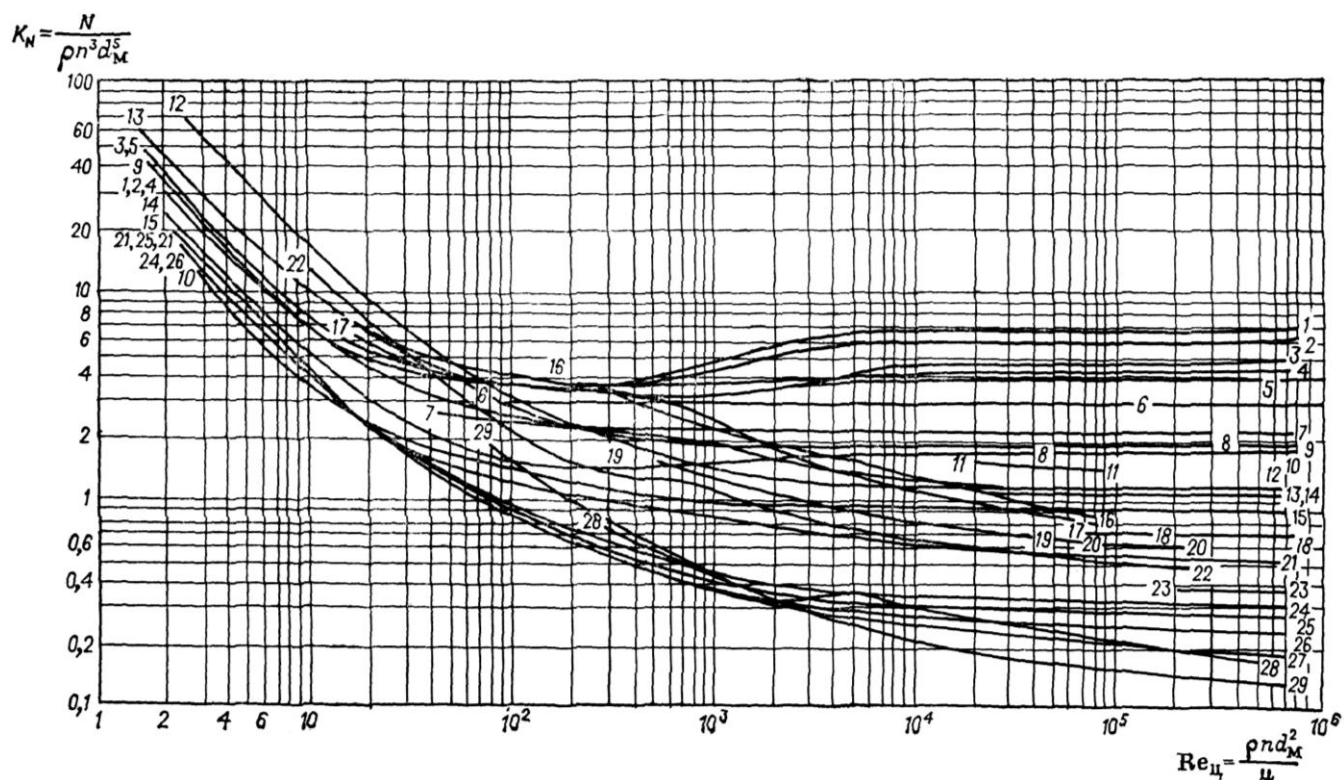


14. Зависимость критериев Re и Ly от критерия Ar для осаждения одиночной частицы в неподвижной среде



1 и 6 – шарообразные частицы; 2 – округленные; 3 – угловатые; 4 – продолговатые; 5 – пластинчатые.

15. Зависимость критерия мощности от критерия Рейнольдса



1 – открытая турбинная мешалка с шестью прямыми вертикальными лопатками ($b=0,2d_m$; $l=0,25d_m$) при $D/d_m=3$ в сосуде с четырьмя перегородками ($B/d_m=0,17$); 2 – турбинная мешалка типа 1 при $B/d_m=0,1$; 3 – открытая турбинная мешалка с шестью изогнутыми вертикальными лопатками ($b=0,2d_m$; $l=0,25d_m$) при $D/d_m=3$ в сосуде с четырьмя перегородками ($B/d_m=0,1$); 4 – турбинная мешалка типа 1 при $B/d_m=0,04$; 5 – открытая турбинная мешалка с шестью стреловидными лопатками ($b=0,2d_m$; $l=0,25d_m$) при $D/d_m=3$ в сосуде с четырьмя перегородками ($B/d_m=0,1$); 6 – односторонняя радиально-дисковая мешалка с шестью прямыми вертикальными лопатками ($b=0,1d_m$; $l=0,35d_m$) снизу диска при $D/d_m=2,5$ в сосуде с четырьмя перегородками ($B/d_m=0,25$); 7 – радиальная турбинная мешалка с шестнадцатью лопатками со статором в сосуде без перегородок; 8 – двухлопастная мешалка с прямыми вертикальными лопастями ($b=0,25d_m$) при $D/d_m=4,35$ в сосуде с тремя перегородками ($B/d_m=0,11$); 9 – восьмилопастная мешалка с прямыми лопастями ($b=0,25d_m$) под углом 45° при $D/d_m=3$ в сосуде с четырьмя перегородками ($B/d_m=0,1$); 10 – двухлопастная мешалка типа 8 при $D/d_m=3$ в сосуде с четырьмя перегородками ($B/d_m=0,1$); 11 – закрытая турбинная мешалка с шестью лопатками при $D/d_m=2,4$ в сосуде без перегородок; 12 – турбинная мешалка, сходная с типом 11 при $D/d_m=3$ в сосуде без перегородок; 13 – турбинная мешалка типа 12, без статора, при $D/d_m=3$ в сосуде с четырьмя перегородками ($B/d_m=0,1$); 14 – турбинная мешалка типа 1 в сосуде без перегородок; 15 – трехлопастная пропеллерная мешалка ($s=2d_m$ при $D/d_m=3$ в сосуде с четырьмя перегородками ($B/d_m=0,1$); 16 – четырехлопастная мешалка типа 8 при $D/d_m=3$ в сосуде без перегородок; 17 – четырехлопастная мешалка с лопастями ($b=0,25d_m$) под углом 60° при $D/d_m=3$ в сосуде без перегородок; 18 – трехлопастная пропеллерная мешалка типа 15, но при ($s=1,33d_m$ при $D/d_m=16$ в сосуде с тремя перегородками ($B/d_m=0,06$); 19 – четырехлопастная мешалка типа 9 при $D/d_m=5,2$ в сосуде без перегородок; 20 – двухлопастная мешалка типа 8 при $D/d_m=3$ в сосуде без перегородок; 21 – трехлопастная пропеллерная мешалка типа 15 при $D/d_m=3,3$ в сосуде без перегородок; 22 – четырехлопастная мешалка типа 9 (такая же, как 19) при $D/d_m=2,4 \div 3$ в сосуде без перегородок; 23 – трехлопастная пропеллерная мешалка типа 15 при $s=1,04d_m$ при $D/d_m=9,6$ в сосуде с тремя перегородками ($B/d_m=0,06$); 24 – то же при $s=d_m$ при $D/d_m=3$ в сосуде с четырьмя перегородками ($B/d_m=0,1$); 25 – то же при $s=1,04d_m$ при $D/d_m=4,5$ в сосуде без перегородок ($B/d_m=0,1$); 26 – то же при $s=d_m$ при $D/d_m=3$ в сосуде без перегородок; 27 – то же при $s=1,05d_m$ и $D/d_m=2,7$ в сосуде без перегородок; 28 – то же при $s=d_m$ при $D/d_m=3,8$ без перегородок; 29 – двухлопастная мешалка типа 8 с узкими лопастями [$b=(0,13 \div 0,17)d_m$] при $D/d_m=1,1$ в сосуде без перегородок. Обозначения, принятые для характеристики мешалок: D – диаметр сосуда; d_m – диаметр мешалки; b – ширина лопасти мешалки; l – длина лопасти; B – ширина перегородки; s – шаг пропеллерной мешалки.

Таблица 27 – Средняя удельная теплоемкость некоторых твердых материалов при 0 – 100 °С, кДж/(кг·К)

Алюминий	0,92	Магnezия	0,92
Асбест	0,84	Медь	0,385
Бетон	1,13	Мел	0,88
Бронза	0,385	Нафталин	1,30
Винипласт	1,76	Парафин	2,72
Глина	0,92	Песок сухой	0,80
Дерево (сосна)	2,72	Пробка	1,68
Железо	0,50	Резина	1,68
Известняк, известь	0,92	Свинец	0,13
Каолин	0,92	Сталь	0,50
Каменный уголь	1,30	Стекло	0,42 – 0,84
Кварц	0,80	Текстолит	1,47
Кирпич красный	0,92	Целлюлоза	1,55
Кирпич огнеупорный	0,88 – 1,01	Цинк	0,38
Кокс	0,84	Чугун	0,50
Латунь	0,394	Шерсть	1,63
Лед	2,14	Шлак	0,75
Литье каменное	0,84		

Таблица 28 – Средняя удельная теплоемкость некоторых жидкостей, кДж/(кг·К)

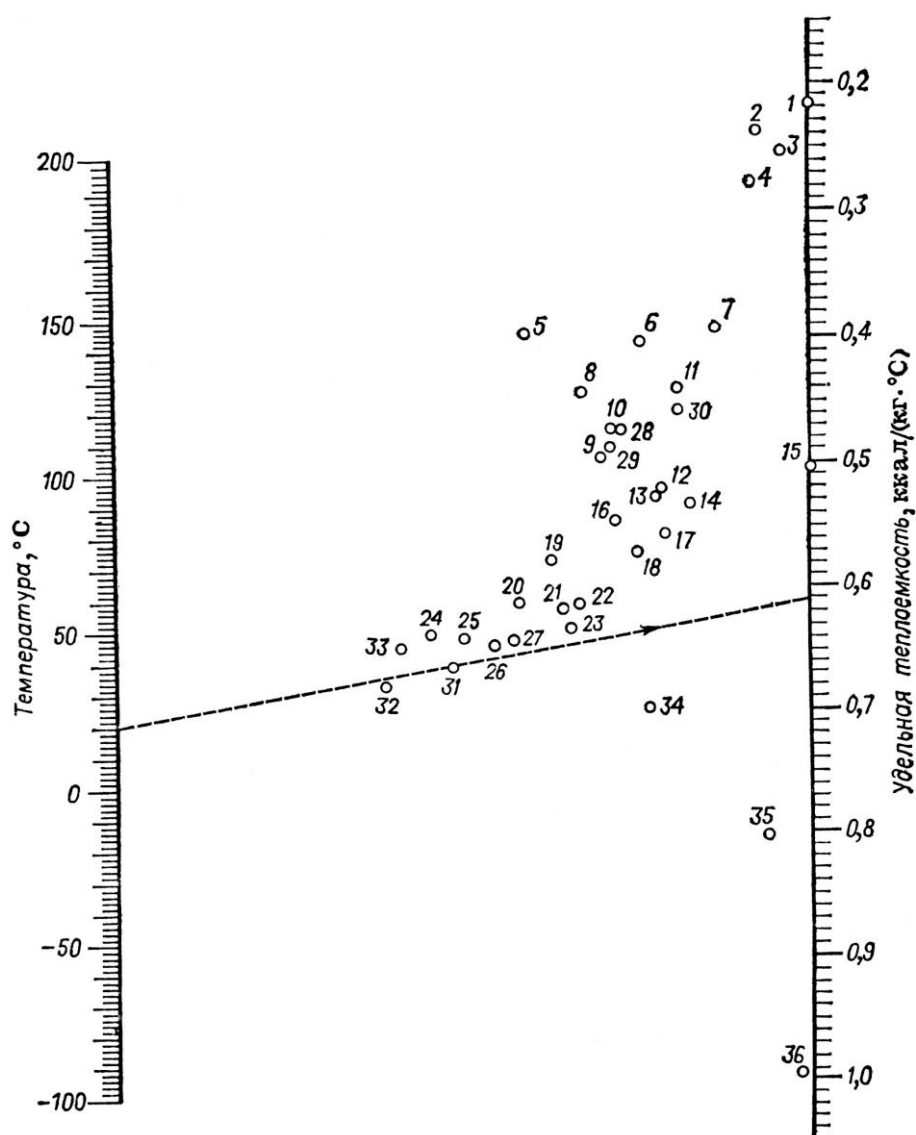
Азот жидкий	2,01	Кислород жидкий	1,68
Азотная кислота	2,77	Машинное масло	1,68
Аммиак	4,19	Нитробензол	1,38
Бензин	1,84	Серный ангидрид	1,34
Гексан	2,51	Скипидар	1,76
Керосин	2,10	Фенол	2,35

Таблица 29 – Мольная теплоемкость газов, кДж/(кмоль·К) (при $p_{абс} = 1$ атм)*

Пересчет в СИ: 1 атм = 760 мм рт. ст. = 101325 Па

Газ	Температура, °С			
	0	100	300	600
Азот, кислород, воздух, оксид углерода	29,0	29,3	30,0	31,0
Аммиак	35,3	37,9	43,2	50,1
Водород	29,1	29,3	29,7	30,4
Водяной пар	35,0	35,5	36,7	39,3
Диоксид углерода и диоксид серы	38,6	41,1	45,7	54,3
Метан	35,7	39,7	47,8	59,8
Сероводород	34,3	35,8	38,8	43,3
Хлор	36,3	36,4	36,7	37,0
* С допустимым приближением данными таблицы можно пользоваться и при давлении порядка нескольких атмосфер				

16. Номограмма для определения теплоемкости жидкостей



Вещество	№ точки	Вещество	№ точки	Вещество	№ точки
Амилацетат	12	Изопентан	20	Толуол (от -60 до 40°C)	28
Анилин	14	Изопропиловый спирт (от 0 до 50°C)	32	Толуол (от 40 до 100°C)	30
Ацетон	18	Изопропиловый спирт (от -50 до 0°C)	27	Уксусная кислота, 100 %	16
Бензол	29	Йодистый этил	5	Хлорбензол	6
Бромистый этил	1	o- и m-Ксилол	9	Хлористый кальций, 25 %	34
Бутиловый спирт	24	n-Ксилол	10	Хлористый натрий, 25 %	35
Вода	36	Метиловый спирт	23	Хлористый этил	11
Гептан	18	Октан	15	Хлороформ	3
Глицерин	21	Пропиловый спирт	25	Четыреххлористый углерод	2
Дифенил	8	Серная кислота, 100 %	7	Этилацетат	13
Диэтиловый эфир	17	Сероуглерод	4	Этиленгликоль	22
Изобутиловый спирт	33	Соляная кислота, 30 %	26	Этиловый спирт	31

17. Номограмма для определения теплоемкости газов и паров при атмосферном давлении

В основе номограммы лежит полуэмпирическая зависимость:

$$\lg c_p = a + bt$$

где c_p —теплоемкость пара или газа при постоянном давлении; t —температура; a и b —эмпирические константы.

Пользование номограммой. Через точку для заданного газа или пара проводят прямую линию от заданной точки на шкале температуры до шкалы теплоемкости

Примечание. $1 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) = 0,239 \cdot 10^{-3} \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Газ или пар	Предел температур, °С		Номер точки
	от	до	
Азот	0	1400	26
Аммиак	0	600	12
Аммиак	600	1400	14
Ацетилен	0	200	10
Ацетилен	200	400	15
Ацетилен	400	1400	16
Бромистый водород	0	1400	35
Водород	0	600	1
Водород	600	1400	2
Водяной пар	0	1400	17
Воздух	0	1400	27
Двуокись серы	0	400	22
Двуокись серы	400	1400	31
Двуокись углерода	0	400	18
Двуокись углерода	400	1400	24
Иодистый водород	0	1400	36
Кислород	0	500	23
Кислород	500	1400	29
Метан	0	300	5
Метан	300	700	6
Метан	700	1400	7
Окись азота	0	700	25
Окись азота	700	1400	28
Окись углерода	0	1400	26
Сера (пар)	300	1400	33
Сероводород	0	700	19
Сероводород	700	1400	21
Фреон-11 (хладон-11)	0	150	38
Фреон-21 (хладон-21)	0	150	39
Фреон-22 (хладон-22)	0	150	37
Фреон-113 (хладон-113)	0	150	40
Фтористый водород	0	1400	20
Хлор	0	200	32
Хлор	200	1400	34
Хлористый водород	0	1400	30
Этан	0	200	3
Этан	200	600	9
Этан	600	1400	8
Этилен	0	200	4
Этилен	200	600	11
Этилен	600	1400	13

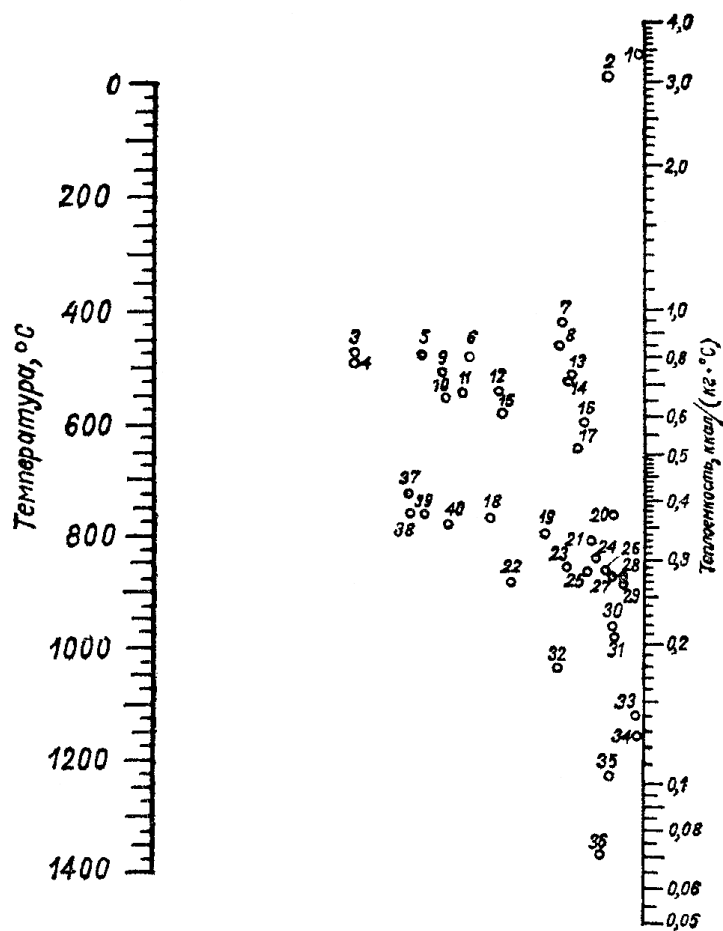


Таблица 30 – Коэффициенты теплопроводности некоторых материалов при 0 – 100 °С

Материал	Плотность (для сыпучих материалов насыпная плотность), кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
Асбест	600	0,151
Бетон	2300	1,28
Винипласт	1380	0,163
Войлок шерстяной	300	0,047
Дерево (сосна) поперек волокон	600	0,140 – 0,174
» » вдоль волокон	600	0,384
Кладка из обыкновенного кирпича	1700	0,698 – 0,814
» » огнеупорного кирпича	1840	1,05 *
» » изоляционного кирпича	600	0,116 – 0,209
Краска масляная	—	0,233
Лед	920	2,33
Литье каменное	3000	0,698
Магнезия 85 % в порошке	216	0,070
Накипь, водяной камень	—	1,163 – 3,49
Опилки древесные	230	0,070 – 0,093
Пенопласт	30	0,047
Песок сухой	1500	0,349 – 0,814
Пробковая мелочь	160	0,047
Ржавчина (окалина)	—	1,16
Совелит	450	0,098
Стекло	2500	0,698 – 0,814
Стеклянная вата	200	0,035 – 0,070
Текстолит	1380	0,244
Торфоплиты	220	0,064
Фаолит	1730	0,419
Шлаковая вата	250	0,076
Эмаль	2350	0,872 – 1,163
Металлы		
Алюминий	2700	203,5
Бронза	8000	64,0
Латунь	8500	93,0
Медь	8800	384
Свинец	11400	34,9
Сталь черная	7850	46,5
» нержавеющая	7900	17,5
Чугун	7500	46,5 – 93,0
* При температуре 800–1100°С.		

Таблица 31 – Коэффициенты теплопроводности жидкостей и водных растворов

Вещество	Концентрация, % (масс.)	Температура, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
BaCl ₂	21	32	0,58
KBr	40	32	0,50
KOH	21	32	0,58
	42	32	0,55
K ₂ SO ₄	10	32	0,60
KCl	15	32	0,58
	30	32	0,56
MgSO ₄	22	32	0,59
MgCl ₂	11	32	0,58
	29	32	0,52
CuSO ₄	18	32	0,58
NaBr	20	32	0,57
	40	32	0,54
Na ₂ CO ₃	10	32	0,58
NaCl	12,5	32	0,58
H ₂ SO ₄	30	32	0,52
	60	32	0,44
	90	32	0,35
HCl	12,5	32	0,52
	25	32	0,48
	38	32	0,44
Аммиак жидкий	100	0	0,541
	100	100	0,314
Дихлорэтан	100	0	0,1396
Уксусная кислота	50	0	0,314
	50	100	0,477
Хлорбензол	100	0	0,132
	100	100	0,1128
Хлороформ	100	0	0,142
	100	100	0,0919

Таблица 32 – Коэффициенты теплопроводности газов при $p = 1$ атм* [в Вт/(м·К)]

Газ	Температура, °С			
	0	50	100	200
Азот	0,0233	0,0267	0,0314	0,0384
Аммиак	0,0209	0,0256	0,0314	—
Водород	0,1628	0,1861	0,2210	0,2559
Водяной пар	0,0163	0,0198	0,0244	0,0326
Воздух	0,0244	0,0279	0,0326	0,0395
Кислород	0,0244	0,0291	0,0326	0,0407
Метан	0,0302	0,0361	0,0465	—
Оксид углерода	0,0221	0,0244	—	—
Диоксид углерода	0,0140	0,0186	0,0233	0,0314
Этан	0,0174	0,0233	0,0314	—
Этилен	0,0163	0,0209	0,0267	—

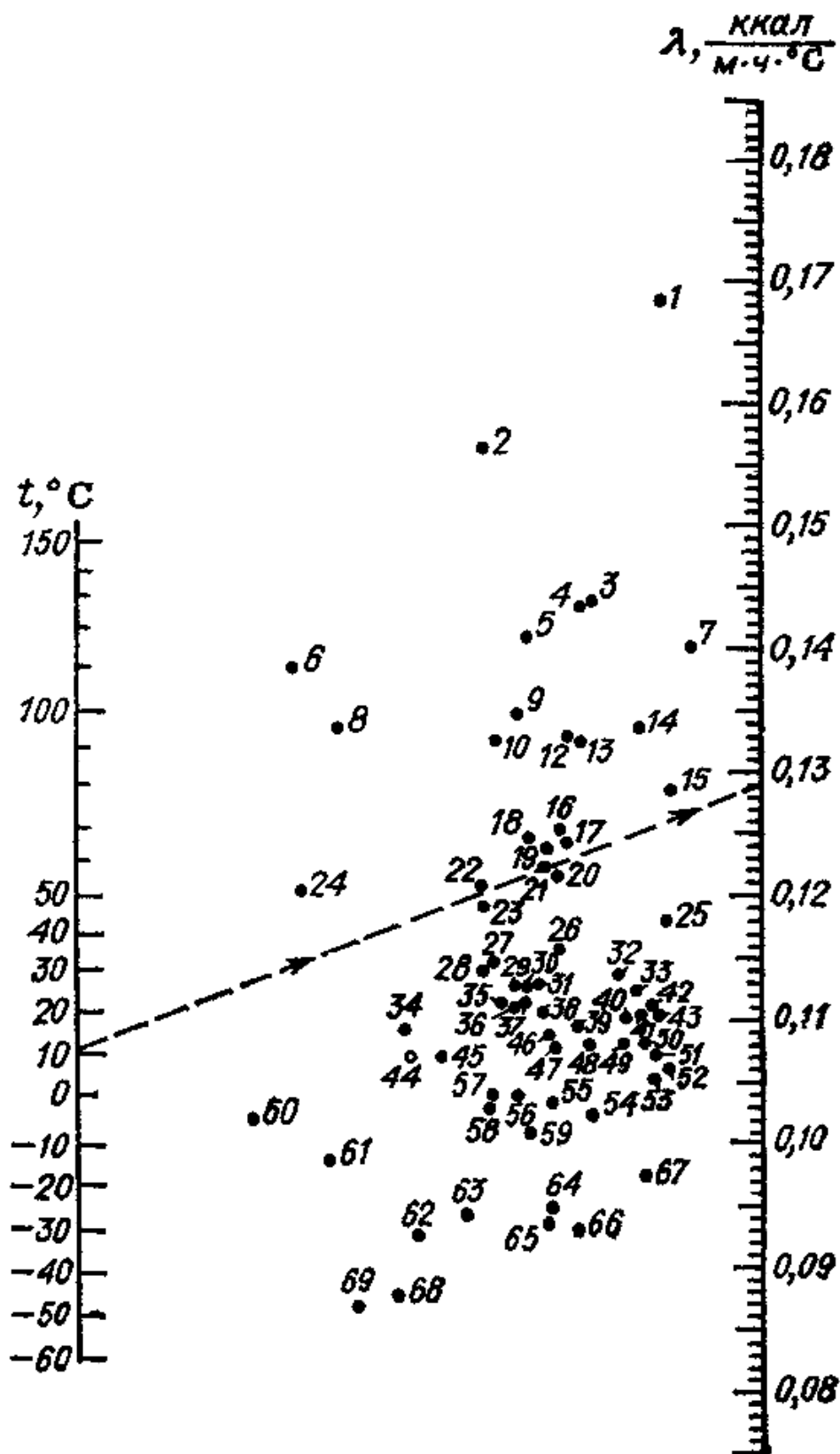
* Пересчет в СИ и примечание см. табл. 29

18. Номограмма для определения коэффициента теплопроводности жидкостей

Номограмма построена на основе экспериментальных данных. Она представляет собой зависимость λ в ккал/(м·ч·°C) почти для 70 различных жидкостей от температуры в пределах от -60 до +150°.

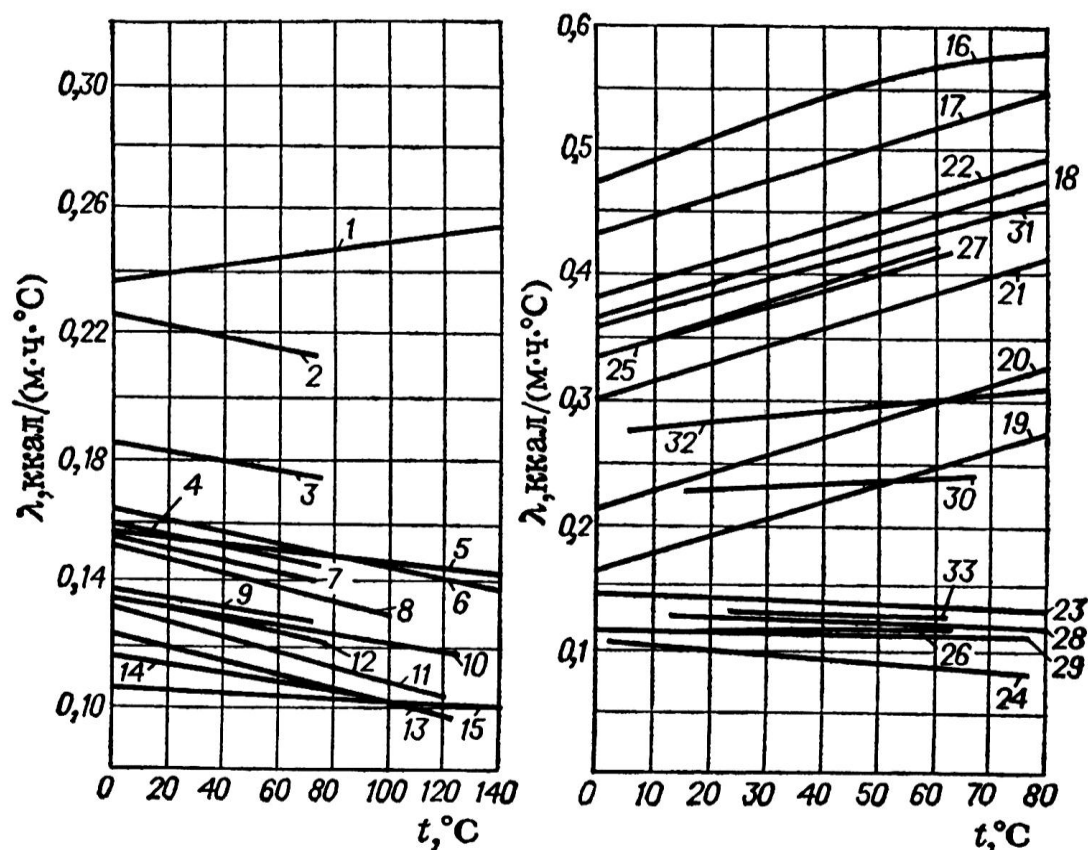
Пользование номограммой. Через точку для заданной жидкости проводят прямую линию от заданной точки на шкале температуры до шкалы теплопроводности.

Например, дано: изопропиловый спирт (точка 19 по таблице), температура = 10 °C; находим $\lambda = 0,129$ ккал/(м·ч·°C) = 0,15 Вт/(м·K). Примечание. 1 ккал/(м·ч·°C) = 1,163 Вт/(м·K).



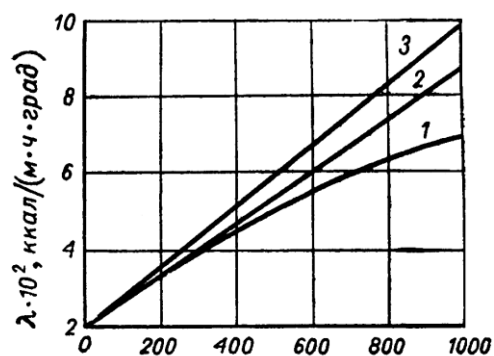
Жидкость	Номер точки	Пределы применимости номограммы, °С	Жидкость	Номер точки	Пределы применимости номограммы, °С
<i>n</i> -Амиловый спирт	12	30–100	Нитробензол	17	0–125
<i>изо</i> -Амиловый спирт	15	30–75	Нитрометан	2	30–60
Анилин	5	0–150	Нонан	36	0–150
Ацетон	10	0–100	Оливковое масло	7	20–100
Бензол	23	0–125	Паральдегид	20	30–100
Бензин Б – 70	56	–50÷+150	<i>n</i> – Пентен	57	0–50
Бутиловый спирт	16	0–75	<i>изо</i> – Пентен	58	0–40
Бромбензол	59	–20÷+80	Пропан	30	30–90
Вазелиновое масло	51	0–150	<i>n</i> – Пропиловый спирт	18	0–100
Веретенное масло АУ	33	10–100	<i>изо</i> – Пропиловый спирт	19	0–75
Гексиловый спирт	14	30–75	Тетракрезиолокисилан	48	10–150
Гептиловый спирт	13	30–75	Трихлорэтилен	40	–60÷+20
Двуокись углерода	60	0–31	Триэтиламин	45	0–80
Даутерм (ВОТ)	26	20–150	Топливо Т – 1	55	–50÷+150
Декан	37	0–150	Топливо Т – 5	54	–50÷+150
Дикумилметан	44	20–100	Турбинное масло Л и Т (22 и 46)	42	10–100
Додекан	31	0–150	Турбинное масло УТ (30)	43	10–100
Двуокись серы	8	0–30	Трансформаторное масло	67	0–120
Дизельное масло	41	10–100	Толуол	28	0–150
Изооктан	65	0–100	Уксусная кислота	9	25–75
Иодбензол	66	–20÷+80	Фреон – 11 (хладон – 11)	63	–40÷+40
Керосин	21	20–75	Фреон – 12 (хладон – 12)	68	–60÷+20
Касторовое масло	3	0–150	Фреон – 21 (хладон – 21)	34	–40÷+20
<i>о</i> – <i>и</i> – <i>м</i> Ксилол	29	0–125	Фреон – 22 (хладон – 22)	62	–60÷+20
Кумол	46	0–100	Фреон – 40 (хладон – 40)	24	–20÷+20
Моноизопропилдифенил	39	–	Фреон – 113 (хладон – 113)	69	–30÷+20
Масло МК–22	22	10–150	Хлорбензол	38	0–80
Масло МС–20	32	0–120	Хлористый этилен	49	0–80
Мазут Ф – 40 – топочный	53	10–100	Циклогексан	47	10–80
Мазут Ф – 20 – флотский	52	10–100	Четыреххлористый углерод	64	–
Мазут Ф – 12 – флотский	50	10–100	Этан	61	0–50
Масляная кислота	6	80–120	Этилбензол	35	0–80
Мезитилен	27	0–80	Этиловый спирт, 94%	4	0–150
Метиловый спирт	1	0–75			

19. Коэффициенты теплопроводности некоторых жидкостей



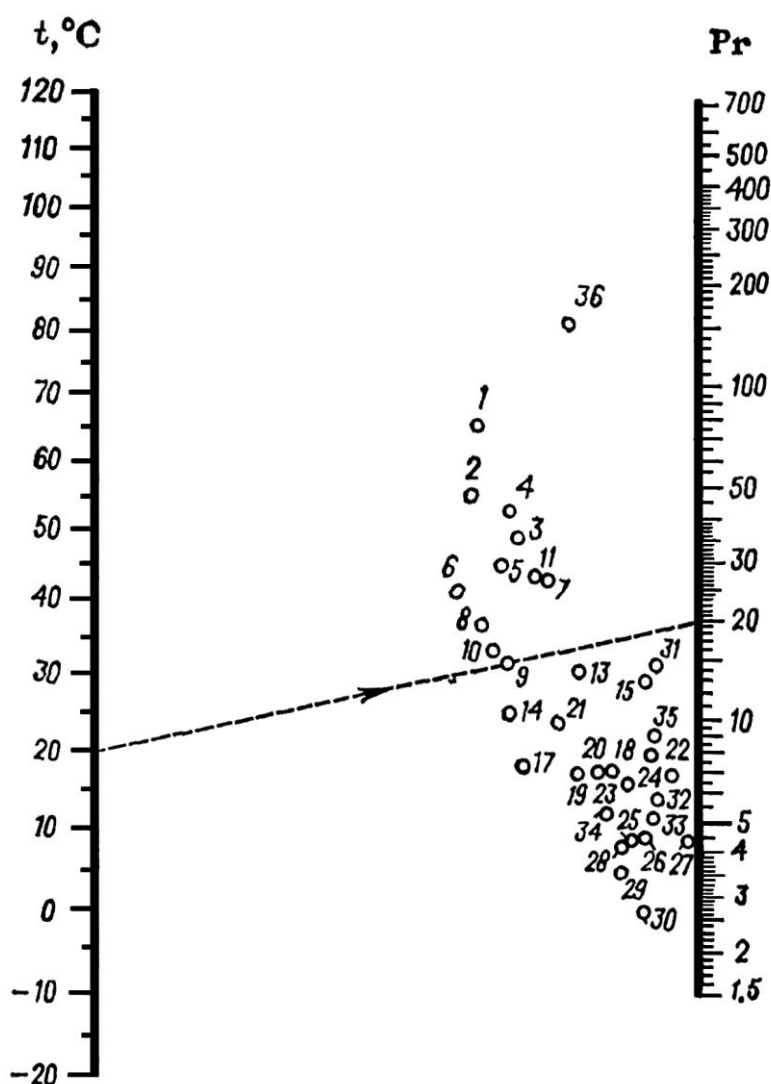
Вещество	№ точки	Вещество	№ точки	Вещество	№ точки
Аммиак, 26 %	31	Изопропиловый спирт	12	Соляная кислота, 30 %	27
Анилин	6	Касторовое масло	5	Толуол	13
Ацетон	8	Керосин	28	Уксусная кислота	7
Бензол	11	Ксилол	14	Хлористый кальций, 25 %	17
Бутиловый спирт	9	Метиловый спирт, 100 %	3	Хлористый натрий, 25 %	18
Вазелиновое масло	15	» 50 %	32	Четыреххлористый углерод	24
Вода	16	Муравьиная кислота	2	Этиловый спирт, 100 %	4
Гексан	26	Нитробензол	10	» » , 80 %	19
Глицерин безводный	1	Октан	33	» » , 60 %	20
» » 50 %	25	Серная кислота, 98 %	30	» » , 40 %	21
Диэтиловый эфир	29	Сероуглерод	23	» » , 20 %	22

20. Коэффициенты теплопроводности дымовых газов



Состав дымовых газов, % (об.): CO_2 – 13; O_2 – 5;
 $(\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O})$ – 82,
 Содержание водяного пара (в %):
 1 – 0; 2 – 15; 3 – 20,
 Пересчет в СИ: $1 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

21. Значения критерия Pr для жидкостей



Вещество	№ точки	Вещество	№ точки
Амилацетат	31	Серная кислота, 98 %	2
Аммиак, 26 %	14	Серная кислота, 60 %	4
Анилин	5	Серовуглерод	30
Ацетон	25	Соляная кислота	21
Бензол	22	Толуол	23
Бромистый этил	29	Уксусная кислота, 100 %	15
n-Бутиловый спирт	11	Уксусная кислота, 50 %	9
Вода	17	Хлорбензол	35
Гептан	32	Хлористый кальций, 25 %	16
Изоамиловый спирт	3	Хлористый натрий, 25 %	12
Изопропиловый спирт	7	Хлороформ	34
Иодистый этил	27	Четыреххлористый углерод	18
Ксилол	19	Этилацетат	24
Метиловый спирт, 100 %	20	Этиленгликоль	36
» » , 40 %	10	Этиловый спирт, 100 %	13
Октан	33	» » , 50 %	8
n-Пентан	26	Этиловый эфир	28
Серная кислота, 111 %	1		

Таблица 33 – Коэффициенты объемного расширения жидкостей при 20 °С (в К⁻¹)

Жидкость	$\beta \cdot 10^5$	Жидкость	$\beta \cdot 10^5$
Бензин	125	Пентан	159
Глицерин	53	Раствор CaCl ₂ , 6 % *	25
Керосин	100	» CaCl ₂ , 41 %	46
<i>m</i> -Ксилол	101	» NaCl, 26 % *	44
Масло оливковое	70	Скипидар	94
» парафиновое	90	Спирт амиловый	93
* Значение β для рассолов см. Данилова Г.Н. и др. Сборник задач и расчетов по теплопередаче. – М.-Л.: Госторгиздат, 1961.			

Таблица 34 – Коэффициент β объемного расширения жидких веществ и водных растворов в зависимости от температуры)

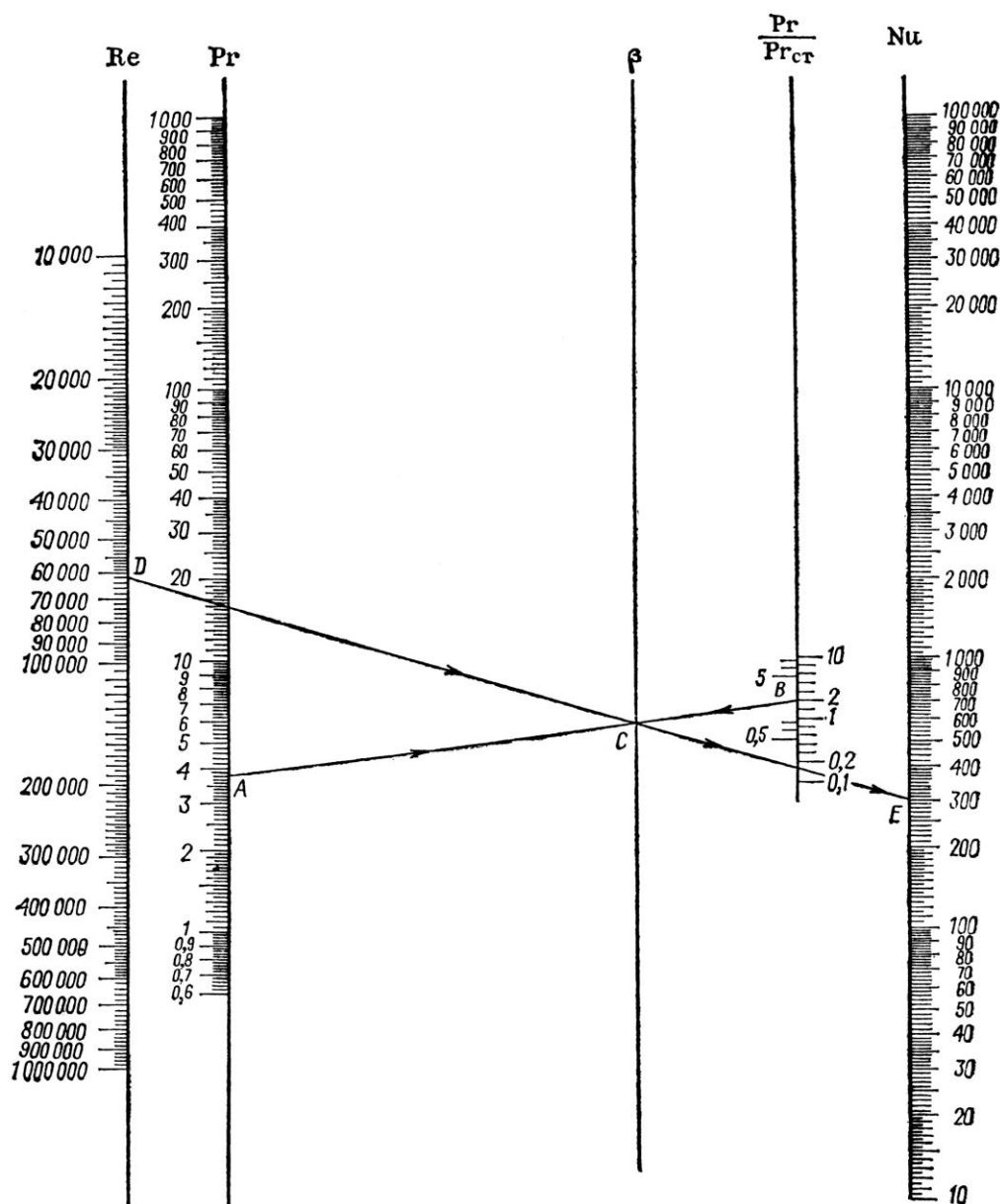
Вещество	$\beta \cdot 10^3$							
	-20 °С	0 °С	20 °С	40 °С	60 °С	80 °С	100 °С	120 °С
Азотная кислота, 50 %	—	0,84	0,88	0,92	0,97	1,03	1,09	—
Аммиак жидкий	1,84	2,15	2,42	2,8	3,2	4,3	6,2	14,5
Анилин	—	0,83	0,84	0,86	0,88	0,91	0,95	1,01
Ацетон	1,31	1,35	1,43	1,52	1,62	1,88	2	2,12
Бензол	—	1,18	1,22	1,26	1,3	1,37	1,43	1,57
Бутиловый спирт	0,83	0,85	0,88	0,91	0,94	0,98	1,03	1,09
Вода	—	-0,06	0,21	0,39	0,53	0,63	0,75	0,86
Гексан	1,16	1,22	1,37	1,48	1,57	1,7	1,85	1,97
Диоксид серы (жидк.)	1,64	1,75	1,92	2,23	2,61	3,15	3,9	4,4
Дихлорэтан	1,07	1,11	1,16	1,21	1,26	1,31	1,37	1,44
Диэтиловый эфир	1,45	1,51	1,63	1,76	1,85	2,16	2,6	3,1
Изопропиловый спирт	0,98	1,01	1,05	1,08	1,12	1,16	1,2	1,27
Кальций хлористый, 25 % раствор	0,35	0,35	0,39	0,43	0,46	0,49	0,51	0,55
Метиловый спирт	1,09	1,14	1,19	1,27	1,3	1,42	1,61	1,81
Муравьиная кислота	—	0,98	0,99	1,01	1,04	1,08	1,13	1,16
Натр едкий, 50 % раствор	—	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,46	0,48
» » , 40 % »	—	0,47	0,47	0,48	0,49	0,5	0,51	0,52
» » , 30 % »	—	0,44	0,46	0,48	0,5	0,52	0,55	0,58
» » , 20 % »	—	0,41	0,45	0,48	0,51	0,55	0,59	0,63
» » , 10 % »	—	0,34	0,4	0,46	0,51	0,57	0,63	0,69
Натрий хлористый, 20 % раствор	—	0,36	0,41	0,46	0,5	0,54	0,58	0,62
Нитробензол	—	0,81	0,82	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91
Октан	1,09	1,11	1,14	1,17	1,22	1,27	1,34	1,42
Серная кислота, 98 %	—	0,56	0,48	0,53	0,53	0,52	0,51	0,5
» » , 92 %	0,58	0,58	0,58	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55
» » , 75 %	0,58	0,61	0,58	0,56	0,55	0,55	0,55	0,54
» » , 60 %	0,58	0,58	0,56	0,55	0,55	0,54	0,53	0,53
Сероуглерод	1,13	1,14	1,19	1,28	1,41	1,6	1,84	2,05
Соляная кислота, 30 %	—	0,52	0,52	0,51	0,5	0,52	0,56	0,6
Толуол	1	1,04	1,07	1,11	1,17	1,24	1,33	1,44
Уксусная кислота	—	1,05	1,07	1,11	1,14	1,18	1,23	1,3
Фенол (расплавленный)	—	0,75	0,79	0,82	0,86	0,9	0,95	0,99
Хлорбензол	0,92	0,94	0,97	1,0	1,03	1,07	1,11	1,16
Хлороформ	1,18	1,22	1,27	1,34	1,43	1,53	1,65	1,8
Четыреххлористый углерод	1,14	1,18	1,22	1,26	1,32	1,37	1,5	1,62
Этилацетат	1,2	1,26	1,35	1,46	1,52	1,6	1,76	1,94
Этиловый спирт	1,03	1,05	1,08	1,13	1,22	1,33	1,44	1,87

Таблица 35 – Среднее значение тепловой проводимости загрязнений стенок

Теплоносители	Тепловая проводимость загрязнений стенок $1/r_{\text{загр}}$, Вт/(м ² · К)
Вода загрязненная	1400 – 1860 *
» среднего качества	1860 – 2900 *
» хорошего качества	2900 – 5800 *
» очищенная	2900 – 5800 *
» дистиллированная	11600
Нефтепродукты чистые, масла, пары хладагентов	2900
Нефтепродукты сырые	1160
Органические жидкости, рассолы, жидкие хладагенты	5800
Водяной пар (с содержанием масла)	5800
Органические пары	11600
Воздух	2800

* Для воды меньшие значения тепловой проводимости загрязнений соответствуют более высоким температурам

22. Номограмма для определения коэффициента теплоотдачи в прямых трубах при $Re > 10000$ и $\epsilon_1 = 1$:
I этап: AB→C; II этап: DC→E



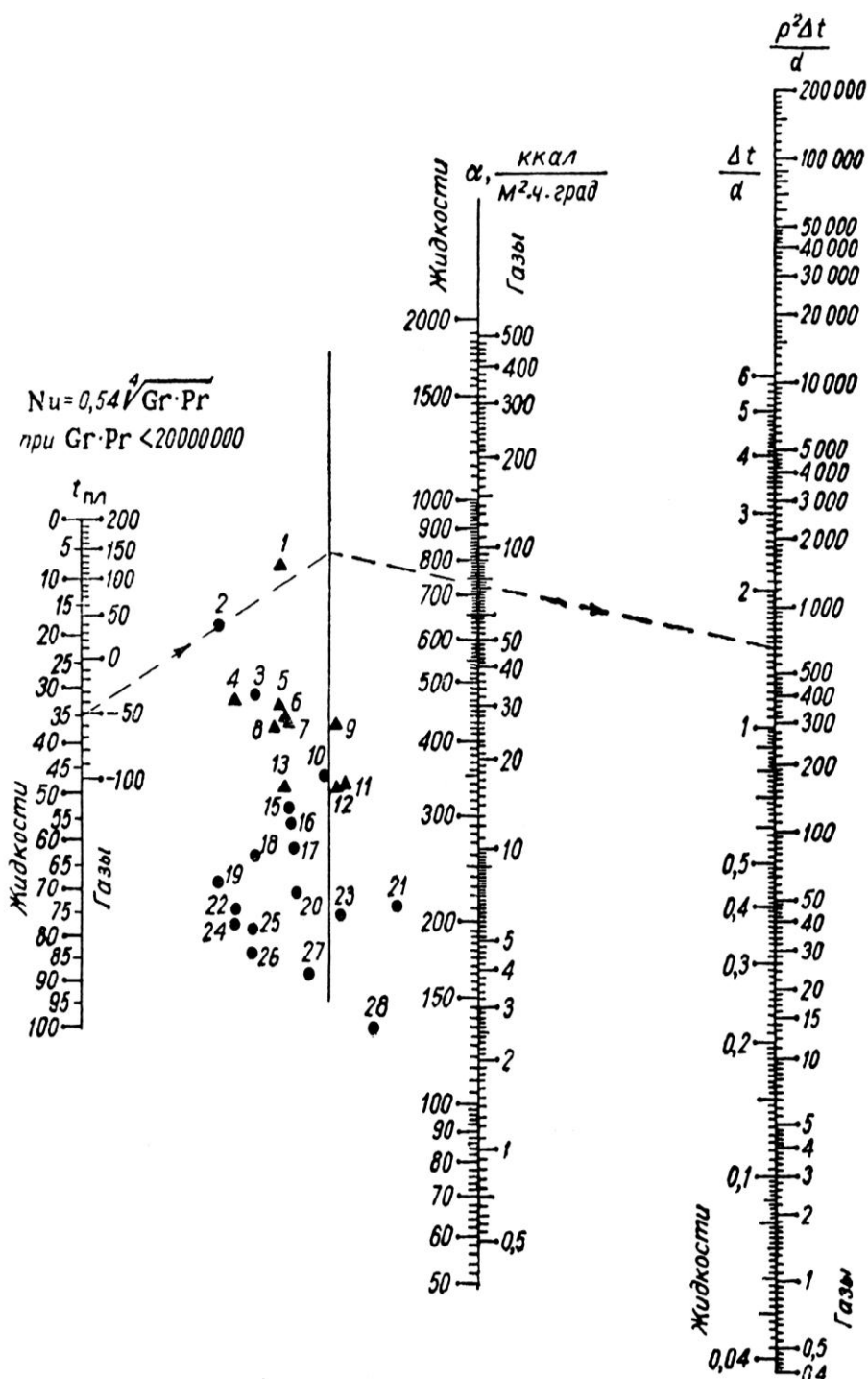
23. Номограмма для определения α при свободном движении ($GrPr < 20 \cdot 10^6$)

$t_{пл}$ – средняя температура пленки, равная $0,5(t_{ст} + t_{ж})$, °C; $t_{ст}$ – средняя температура стенки, °C; $t_{ж}$ – средняя температура жидкости или газа, °C; Δt – средняя разность между температурой стенки и температурой жидкости, °C; α – коэффициент теплоотдачи, ккал/(м²·ч·град); P – давление газа, ат; d – диаметр трубы, мм.

Пересчет в СИ: 1 ккал/(м²·ч·град) = 1,16 Вт/(м²·град); 1 ат = 9,81·10³ Н/м².

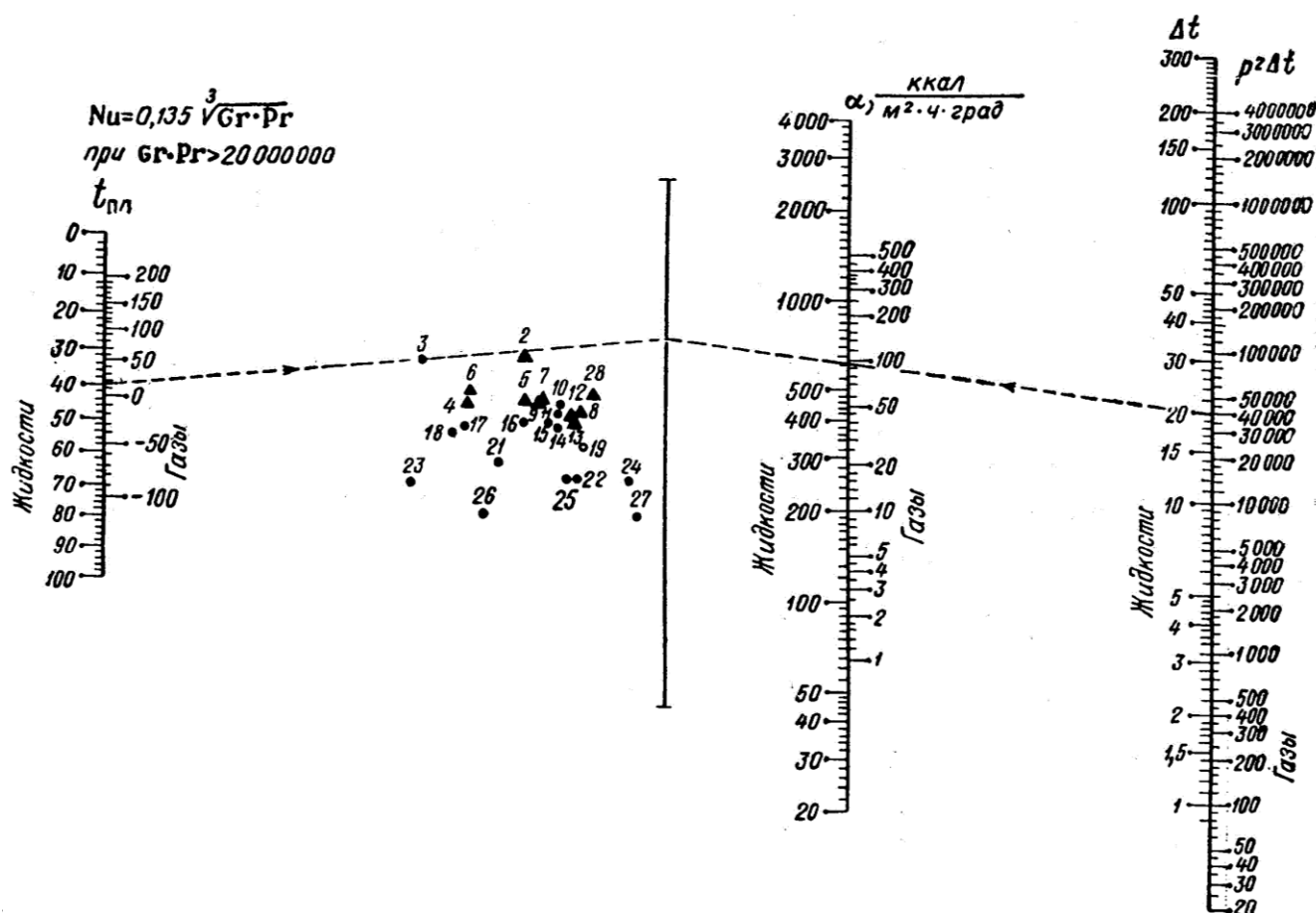
Жидкость	№ точки
Анилин	25
Ацетон	10
Бензол	23
н-Бутиловый спирт	19
Вода	2
н-Пентан	17
Серная кислота, 111%	24
Серная кислота, 98%	22
Серная кислота, 60%	26
Сероуглерод	15
Соляная кислота, 30%,	3
Толуол	20
Уксусная кислота	28
Четыреххлористый углерод	27
Этилацетат	21
Этиловый спирт	18
Этиловый эфир	16

Газ	№ точки
Азот	6
Аммиак	9
Водород	1
Воздух, окись углерода	7
Водяной пар	11
Двуокись серы	13
Двуокись углерода	12
Кислород	5
Метан	4
Окись азота	8



24. Номограмма для определения α при свободном движении ($GrPr < 20 \cdot 10^6$):

α – коэффициент теплоотдачи, ккал/(м²·ч·град); P – давление газа, ат; $t_{пл}$ – средняя температура пленки, равная, $0,5(t_{ст} + t_{ж})$ °С; $t_{ст}$ – средняя температура стенки, °С; $t_{ж}$ – средняя температура жидкости или газа, °С;
Пересчет в СИ: 1 ккал/(м²·ч·град) = 1,163 Вт/(м²·град); 1 ат = $9,81 \cdot 10^3$ Н/м².

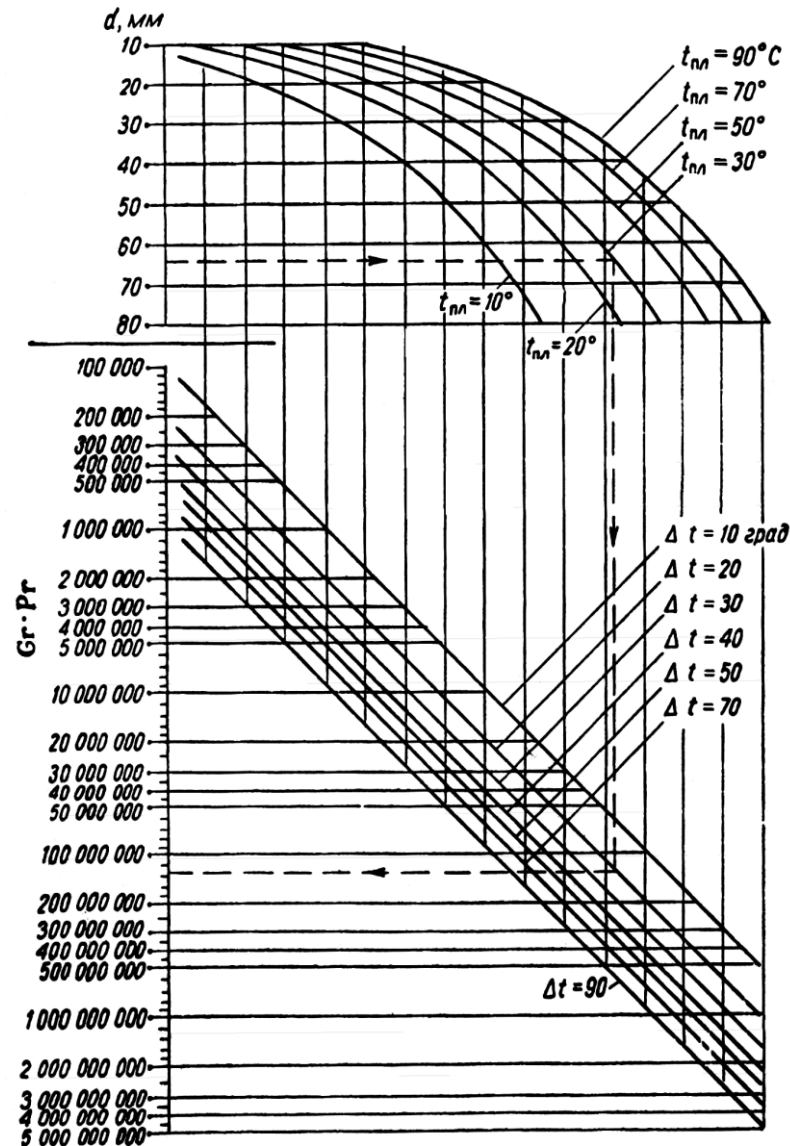


Жидкость	№ точки	Жидкость	№ точки
Анилин	25	Серная кислота, 98%	17
Ацетон	10	Серная кислота, 60%	16
Бензол	24	Сероуглерод	11
n-Бутиловый спирт	23	Толуол	22
Вода	3	Уксусная кислота	27
Метиловый спирт	15	Четыреххлористый углерод	25
n-Пентан	19	Этиловый спирт	21
Серная кислота, 111%	18	Этиловый эфир	14

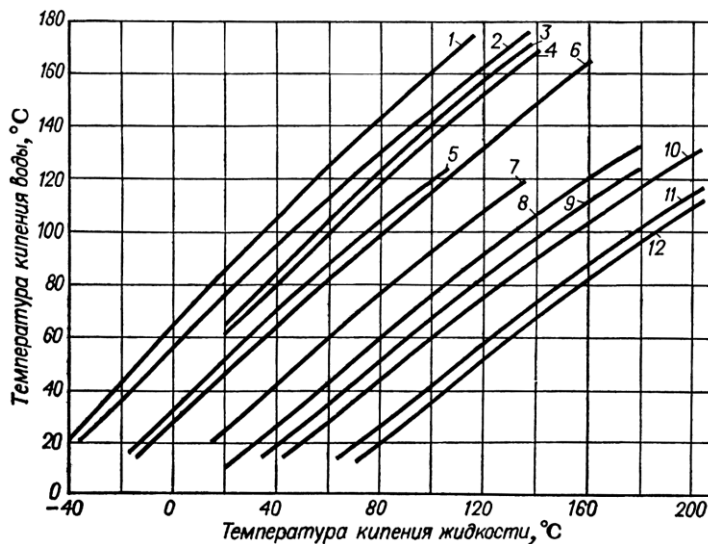
Газ	№ точки	Газ	№ точки
Азот	6	Двуокись углерода	12
Аммиак	28	Кислород	5
Водород	2	Метан	4
Воздух	7	Окись азота	9
Водяной пар	13	Окись углерода	8

25. Номограмма для определения произведения критериев $Gr \cdot Pr$ для воды

d – диаметр трубы, мм; $t_{п.с}$ – средняя температура пограничного слоя, равная $0,5(t_{ст} + t_{п})$, °C; $t_{ст}$ – средняя температура стенки, °C; $t_{п}$ – средняя температура воды, °C; Δt – средняя разность между температурой стенки и температурой воды, град.



26. Диаграмма линейности определения температуры кипения (по воде)

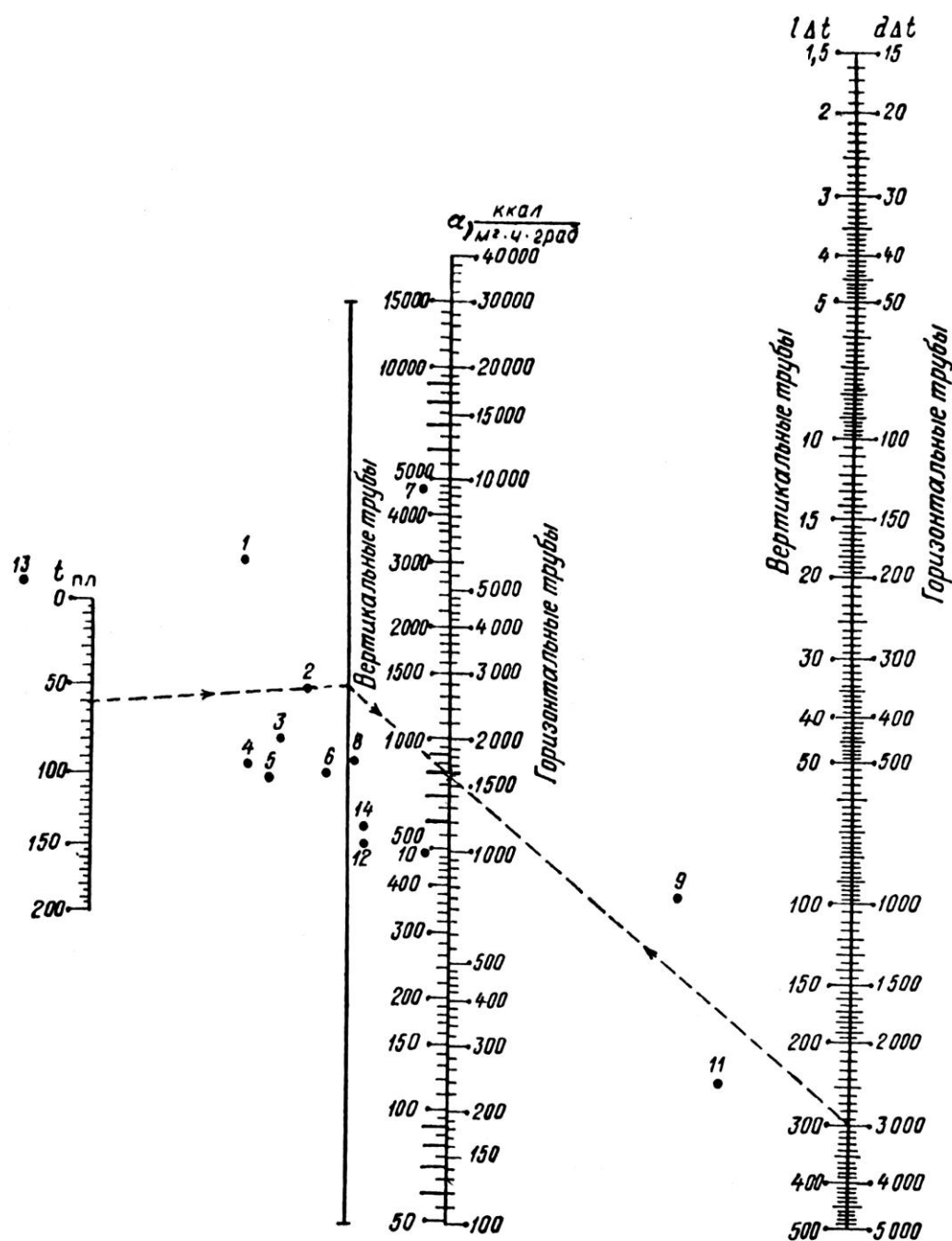


- 1 – этиловый эфир; 2 – сероуглерод; 3 – ацетон;
- 4 – хлороформ; 5 – четыреххлористый углерод;
- 6 – бензол; 7 – толуол; 8 – хлорбензол;
- 9 – о-ксилол; 10 – бромбензол;
- 11 – бензальдегид; 12 – анилин

27. Номограмма для определения коэффициента теплоотдачи при конденсации насыщенного пара

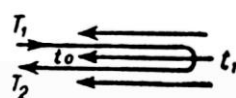
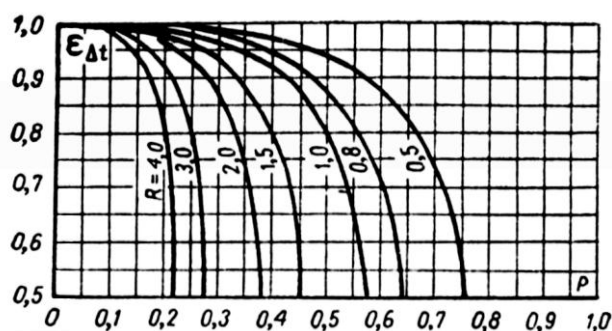
$t_{пл}$ – средняя температура пленки, равная, $0,5(t_{ст}+t_{ж})$ °C; $t_{ст}$ – средняя температура стенки, °C; $t_{конд}$ – температура конденсации, °C; $\Delta t = t_{конд} - t_{ст}$, °C; α – коэффициент теплоотдачи, ккал/(м²·ч·град); Σ – высота трубы, м; d – диаметр трубы, мм,

Пересчет в СИ: 1 ккал/(м²·ч·град) = 1,16 Вт/(м²·град),

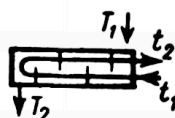
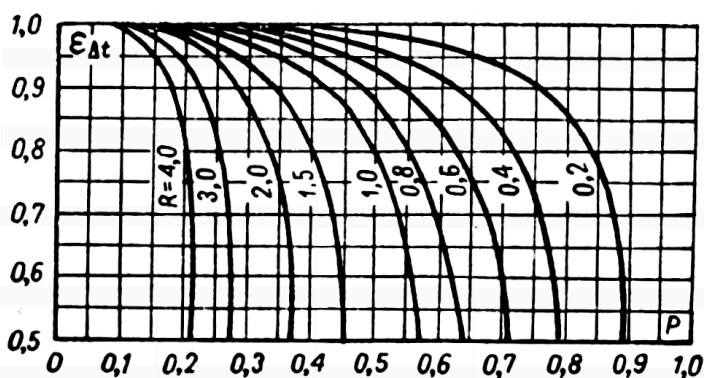


Вещество	№ точки	Вещество	№ точки	Вещество	№ точки
Анилин	4	Метиловый спирт	2	Хлороформ	13
Аммиак	7	Нитробензол	14	Четыреххлористый углерод	12
Ацетон	8	n-Проиловый спирт	5	Этиловый спирт	3
Бензол	10	Уксусная кислота	11	Этиловый эфир	6
Вода	1	Уксусноэтиловый эфир	9		

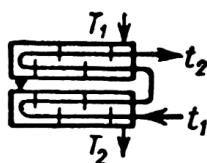
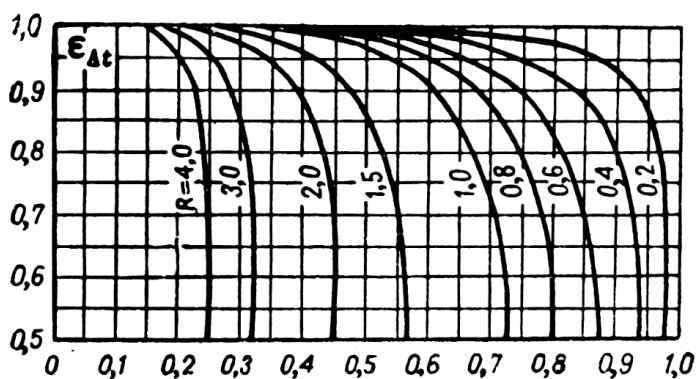
28. Поправочные коэффициенты $\epsilon_{\Delta t}$ для смешанного тока в многоходовых кожухотрубчатых теплообменниках



с одним ходом в межтрубном пространстве и двумя, четырьмя, шестью и более ходами в трубном пространстве



с одним ходом в межтрубном пространстве с поперечными перегородками и двумя, четырьмя, шестью и более ходами в трубном пространстве



с двумя ходами в межтрубном пространстве с поперечными перегородками и четырьмя ходами в трубном пространстве

Таблица 36 – Температуры кипения (в °С) некоторых органических жидкостей при давлениях < 1 атм
Пересчет в СИ: 1 атм = 760 мм рт. ст. = 101325 Па

Давление (абсолютное) мм рт. ст.	Анилин	Глицерин	м-Ксилол	Нитробензол	Толуол	Октан
10	69,4	167,2	28,3	84,9	6,4	19,2
20	82,0	182,2	41,1	99,3	18,4	31,5
40	96,7	198,0	55,3	115,4	31,8	45,1
60	106,0	208,0	64,4	125,8	40,3	53,8
100	119,9	220,1	76,8	139,9	51,9	65,7
200	140,1	240,0	95,5	161,2	69,5	83,6
400	161,9	263,0	116,7	185,8	89,5	104,0
760	184,4	290,0	139,1	210,6	110,6	125,6

Таблица 37 – Концентрации [в % (масс.)] некоторых водных растворов, кипящих под атмосферным давлением

Растворенное вещество	Температура кипения, °C									
	101	102	103	104	105	107	110	115	120	
CaCl ₂	5,66	10,31	14,16	17,36	20,0	24,24	29,33	35,68	40,83	
KOH	4,49	8,51	11,97	14,82	17,01	20,88	25,65	31,97	36,51	
KCl	8,42	14,31	18,96	23,02	26,57	32,62	—	—	—	
K ₂ CO ₃	10,31	18,37	24,24	28,57	32,24	37,69	43,97	50,86	56,04	
KNO ₃	13,19	23,66	32,23	39,20	45,10	54,65	65,34	79,53	—	
MgCl ₂	4,67	8,42	11,66	14,31	16,59	20,32	24,41	29,48	33,07	
MgSO ₄	14,31	22,78	28,31	32,23	35,32	42,86	—	—	—	
NaOH	4,12	7,40	10,15	12,51	14,53	18,32	23,08	26,21	33,77	
NaCl	6,19	11,03	14,67	17,69	20,32	25,09	—	—	—	
NaNO ₃	8,26	15,61	21,87	27,53	32,43	40,47	49,87	60,94	68,94	
Na ₂ SO ₄	15,26	24,81	30,73	—	—	—	—	—	—	
Na ₂ CO ₃	9,42	17,22	23,72	29,18	33,86	—	—	—	—	
CuSO ₄	26,95	39,98	40,83	44,47	—	—	—	—	—	
ZnSO ₄	20,0	31,22	37,89	42,92	46,15	—	—	—	—	
NH ₄ NO ₃	9,09	16,66	23,08	29,08	34,21	42,53	51,92	63,24	71,26	
NH ₄ Cl	6,10	11,35	15,96	19,80	22,89	28,37	35,98	46,95	—	
(NH ₄) ₂ SO ₄	13,34	23,14	30,65	36,71	41,79	49,73	—	—	—	
Растворенное вещество	Температура кипения, °C									
	125	140	160	180	200	220	240	260	280	300
CaCl ₂	45,80	57,89	68,94	75,85	—	—	—	—	—	—
KOH	40,23	48,05	54,89	60,41	64,91	68,73	72,46	75,76	78,95	81,53
KCl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K ₂ CO ₃	60,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
KNO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MgCl ₂	36,02	38,61	—	—	—	—	—	—	—	—
MgSO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NaOH	37,58	48,32	60,13	69,97	77,53	84,03	88,89	93,02	95,92	98,47
NaCl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NaNO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ SO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ CO ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CuSO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ZnSO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NH ₄ NO ₃	77,11	87,09	93,20	96,00	97,61	98,84	—	—	—	—
NH ₄ Cl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(NH ₄) ₂ SO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

29. Номограмма для определения повышения температуры кипения ($\Delta t_{\text{депр}}$) водных растворов

Номограмма построена на основе экспериментальных данных. На ней представлена зависимость $\Delta t_{\text{депр}}$ в К от концентрации в % (масс.) для различных растворов.

Пользование номограммой. Через точку для заданного раствора проводят прямую от заданной точки на шкале концентраций до шкалы повышения температуры кипения $\Delta t_{\text{депр}}$.

Например, дано: раствор поташа K_2CO_3 с координатами (по таблице) $x=29,5$, $y=25$, концентрация раствора 30%; находим $\Delta t_{\text{депр}} = 5,7$ К.

Растворенное вещество	x	y	Пределы применимости номограммы, °С
KOH	33	45,5	0–86
$\text{KC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	46	36,5	0–86
KCl	30	32,5	0–37
K_2CO_3	29,5	25	0–67
KClO_3	43,5	16,5	0–40
KI	35	15,5	0–69
KNO_3	43,5	14,5	0–79
$\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$	37	13,5	0–70
$\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	38,5	13	0–90
KBr	19	26,5	0–34
NH_4Cl	37	35	0–40
NH_4NO_3	42,5	24	0–90
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	34,5	17	0–53
NH_4Br	40	23	0–17
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	33,5	20	0–75
Na_2SO_4	29,5	17	0–32
$\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	36,5	31	0–67,5
NaNO_3	42,5	26	0–69
NaCl	31,5	40	0–29
NaOH	27,5	53	0–14,5
	42	50	14,5–90
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	43	10	0–47,5
Na_2CO_3	36,5	24,5	0–44
Na_2HPO_4	36	13	0–51
NaBr	27,5	29	0–29
NaI	42	16	0–23
NaCNS	40	23	0–7
BaCl_2	35,5	21	0–36
$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	40	15	0–42
CaCl_2	32,5	41,5	0–40
	43	46	40–76
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	36,5	25,5	0–76
CuSO_4	8	3	0–45
MgSO_4	31,5	17,5	0–43
MgCl_2	29	48	0–39
AgNO_3	44,5	4,5	0–58

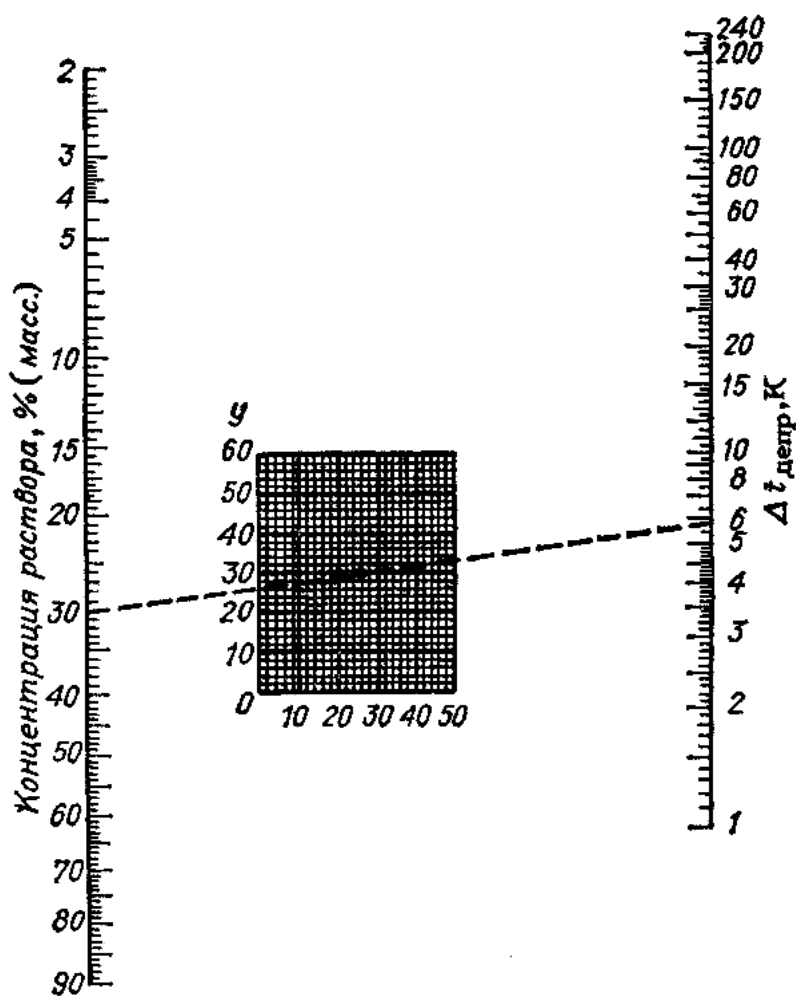
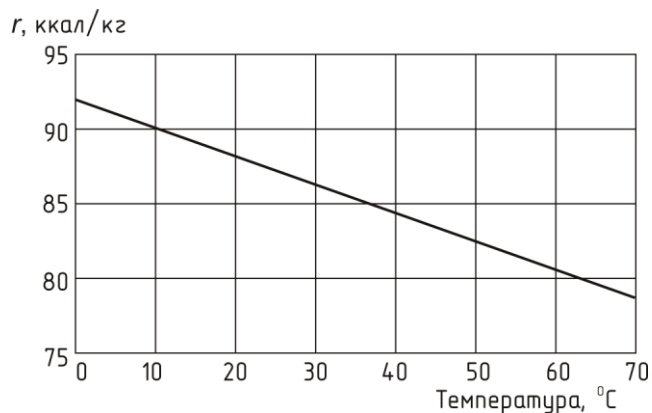


Таблица 38 – Удельная теплота парообразования некоторых веществ (в кДж/кг)

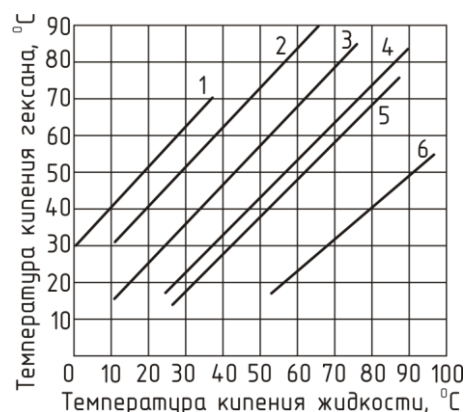
Вещество	Температура кипения, °С				
	0	20	60	100	140
Аммиак	1265,4	1190,0	—	—	—
Анилин	—	—	—	—	435,8 (при 184 °С)
Ацетон	565,7	553,1	519,6	473,5	—
Бензол	448,3	435,8	408,5	379,2	346,1
Бутиловый спирт	703,9	687,2	653,6	611,7	561,5
Вода	2493,1	2446,9	2359,0	2258,4	2149,5
Диоксид углерода	235,1	155,4	—	—	—
Диэтиловый эфир	387,6	366,6	326,4	282,4	228,4
Изопропиловый спирт	775,2	750,0	699,7	636,9	557,3
Метиловый спирт	1198,3	1173,2	1110,4	1013,9	892,6
Нитробензол	—	—	—	—	331,9 (при 211 °С)
Пропиловый спирт	812,9	791,9	745,8	683,0	595,0
Сероуглерод	374,6	367,0	344,4	316,4	282,4
Толуол	414,8	407,7	388,8	368,7	344,0
Уксусная кислота	—	—	—	406,4 (при 118 °С)	395,5
Хладон—12 (фреон—12)	155,0	144,9	132,4	—	—
Хлор	266,6	253,1	222,0	176,8	71,23
Хлорбензол	375,8	369,5	354,4	338,1	320,5
Хлороформ	271,5	263,1	247,6	231,3	—
Четыреххлористый углерод	218,3	213,7	201,9	185,6	168,0
Этилацетат	427,4	411,5	385,9	355,7	317,2
Этиловый спирт	921,4	913,4	879,9	812,9	712,3

30. Зависимость удельной теплоты парообразования гексана от температуры.

Пересчет в СИ: 1 ккал/кг = 4,19 кДж/кг.

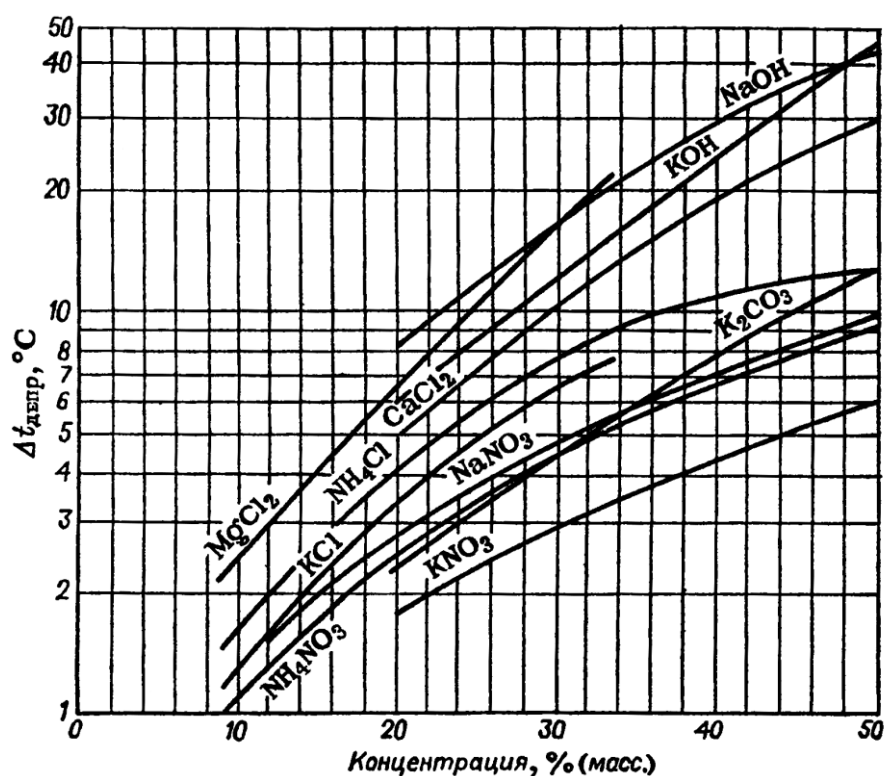


31. Диаграмма линейности определения температуры кипения (по гексану)



1 – этиловый эфир; 2 – сероуглерод; 3 – хлороформ;
4 – четыреххлористый углерод; 5 – бензол; 6 – толуол

**32. Повышение температуры кипения водных растворов
(при атмосферном давлении) в зависимости от концентрации**



**Таблица 39 – Удельная теплоемкость водных растворов хлористого натрия и хлористого кальция
[в кДж/(кг·К)]**

Плотность при 15 °С, кг/м ³	Хлористый натрий			Плотность при 15 °С, кг/м ³	Хлористый кальций			
	0 °С	–10 °С	–20 °С		0 °С	–10 °С	–20 °С	–30 °С
1010	4,077	—	—	1100	3,503	—	—	—
1020	4,006	—	—	1110	3,444	—	—	—
1030	3,943	—	—	1120	3,385	—	—	—
1040	3,884	—	—	1130	3,331	3,306	—	—
1050	3,830	—	—	1140	3,276	3,251	—	—
1060	3,775	—	—	1150	3,226	3,201	—	—
1070	3,725	—	—	1160	3,176	3,155	—	—
1080	3,679	—	—	1170	3,130	3,109	—	—
1090	3,633	—	—	1180	3,088	3,063	—	—
1100	3,591	3,582	—	1190	3,046	3,021	—	—
1110	3,553	3,541	—	1200	3,004	2,979	2,954	—
1120	3,515	3,503	—	1210	2,967	2,941	2,916	—
1130	3,478	3,469	—	1220	2,933	2,908	2,883	—
1140	3,444	3,432	—	1230	2,899	2,874	2,849	—
1150	3,411	3,398	—	1240	2,870	2,845	2,819	2,795
1160	3,377	3,365	—	1250	2,841	2,816	2,791	2,765
1170	3,344	3,335	3,323	1260	2,812	2,786	2,761	2,736
1175	3,331	3,323	3,310	1270	2,782	2,757	2,732	2,707
1203	3,251	—	—	1280	2,757	2,732	2,707	2,682
—	—	—	—	1286	2,740	2,715	2,690	2,665
—	—	—	—	1370	2,531	—	—	—

Таблица 40 – Физические свойства водных растворов хлористого натрия при низких температурах

Содержание соли в растворе, % (масс.)	Плотность при 15 °С, кг/м ³	Температура замерзания °С	Динамический коэффициент вязкости $\mu \cdot 10^4$, Па·с				Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)			
			0 °С	–5 °С	–10 °С	–15 °С	–20 °С	0 °С	–10 °С	–20 °С
0,1	1000	0,0	17,66	—	—	—	—	0,5815	—	—
1,5	1010	–0,9	17,85	—	—	—	—	0,5780	—	—
2,9	1020	–1,8	18,05	—	—	—	—	0,5757	—	—
4,3	1030	–2,6	18,25	—	—	—	—	0,5734	—	—
5,6	1040	–3,5	18,44	—	—	—	—	0,5710	—	—
7,0	1050	–4,4	18,74	—	—	—	—	0,5687	—	—
8,3	1060	–5,4	19,13	23,05	—	—	—	0,5664	—	—
9,6	1070	–6,4	19,62	23,74	—	—	—	0,5641	—	—
11,0	1080	–7,5	20,21	24,43	—	—	—	0,5606	—	—
12,3	1090	–8,6	20,80	25,21	—	—	—	0,5582	—	—
13,6	1100	–9,8	21,48	26,09	—	—	—	0,5559	—	—
14,9	1110	–11,0	22,37	27,17	33,45	—	—	0,5536	0,5187	—
16,2	1120	–12,2	23,25	28,35	34,92	—	—	0,5513	0,5164	—
17,5	1130	–13,6	24,33	29,72	36,79	—	—	0,5489	0,5140	—
18,8	1140	–15,1	25,60	31,20	38,75	47,77	—	0,5466	0,5117	—
20,0	1150	–16,6	26,88	32,77	40,81	50,13	—	0,5443	0,5094	—
21,2	1160	–18,2	28,25	34,43	43,07	52,78	—	0,5420	0,5071	—
22,4	1170	–20,0	29,63	36,40	45,62	55,82	68,67	0,5408	0,5059	0,4768
23,1	1175	–21,2	30,41	37,47	47,09	57,49	70,44	0,5396	0,5047	0,4757
23,7	1180	–17,2	31,39	38,55	48,66	59,35	—	0,5385	0,5036	—
24,9	1190	–9,5	32,96	40,71	—	—	—	0,5361	—	—
26,1	1200	–1,7	34,73	—	—	—	—	0,5338	—	—
26,3	1203	0,0	35,02	—	—	—	—	0,5338	—	—

**Таблица 41 – Физические свойства насыщенного пара дифтордихлорметана (хладона – 12).
Пересчет в СИ: 1 кгс/см² = 9,81·10⁴ Па**

Температура, °С	Давление (абсолютное), кгс/см ²	Плотность		Удельная теплота испарения r , кДж/кг
		жидкости, кг/дм ³	пара, кг/м ³	
+ 40	9,78	1,25	53,1	132,4
+ 30	7,59	1,29	41,2	138,7
+ 25	6,63	1,31	36,1	142,0
+ 20	5,79	1,33	31,5	145,0
+ 10	4,32	1,36	23,8	150,0
0	3,15	1,39	17,7	155,0
– 10	2,21	1,43	12,8	160,0
– 15	1,86	1,44	10,8	161,7
– 20	1,54	1,46	9,04	163,8
– 25	1,26	1,47	7,52	165,5
– 30	1,03	1,49	6,2	167,6
– 35	0,824	1,5	5,07	169,3
– 40	0,655	1,52	4,1	171,0
– 50	0,399	1,54	2,6	175,0
– 60	0,231	1,57	1,56	178,0
– 70	0,125	1,6	0,888	182,0
– 80	0,063	1,63	0,47	185,0

Таблица 42 – Физические свойства водных растворов хлористого кальция при низких температурах

Содержание соли в растворе, % (масс.)	Плотность при 15 °С, кг/м ³	Температура замерзания, °С	Динамический коэффициент вязкости $\mu \cdot 10^4$, Па·с				Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)			
			0 °С	–10 °С	–20 °С	–30 °С	0 °С	–10 °С	–20 °С	–30 °С
0,1	1000	0,0	17,76	—	—	—	0,5815	—	—	—
5,9	1050	–3,0	19,82	—	—	—	0,5675	—	—	—
11,5	1100	–7,1	22,96	—	—	—	0,5524	—	—	—
16,8	1150	–12,7	27,66	43,65	—	—	0,5350	0,504	—	—
17,8	1160	–14,2	28,74	45,13	—	—	0,5303	0,500	—	—
18,9	1170	–15,7	29,92	46,70	—	—	0,5257	0,497	—	—
19,9	1180	–17,4	31,20	48,46	—	—	0,5210	0,493	—	—
20,9	1190	–19,2	32,77	50,72	—	—	0,5164	0,490	—	—
21,9	1200	–21,2	34,43	53,27	86,13	—	0,5117	0,486	0,465	—
22,8	1210	–23,3	36,20	56,11	90,15	—	0,5071	0,484	0,463	—
23,8	1220	–25,7	38,16	59,25	94,76	—	0,5024	0,480	0,459	—
24,7	1230	–28,3	40,22	62,69	99,96	—	0,4978	0,477	0,457	—
25,7	1240	–31,2	42,58	66,81	105,7	148,1	0,4931	0,473	0,455	0,437
26,6	1250	–34,6	45,22	70,83	111,7	158,9	0,4885	0,470	0,452	0,436
27,5	1260	–38,6	48,07	75,24	118,5	171,7	0,4838	0,464	0,449	0,435
28,4	1270	–43,6	51,21	80,25	126,9	188,4	0,4792	0,463	0,446	0,434
29,4	1280	–50,1	54,94	86,33	137,9	212,9	0,4745	0,459	0,444	0,433
29,9	1286	–55,0	56,90	90,45	143,9	225,6	0,4722	0,457	0,443	0,431
30,3	1290	–50,6	58,86	93,29	149,6	238,4	0,4699	0,456	0,442	0,430
31,2	1300	–41,6	63,37	100,6	161,9	265,9	0,4652	0,452	0,438	0,429
32,1	1310	–33,9	68,28	108,7	176,3	307,1	0,4605	0,449	0,436	0,428
33,0	1320	–27,1	73,87	117,3	191,9	—	0,4571	0,444	0,434	—
33,9	1330	–21,2	80,15	127,2	210,0	—	0,4524	0,441	0,431	—
34,7	1340	–15,6	86,52	138,1	—	—	0,4478	0,438	—	—
35,6	1350	–10,2	93,20	151,9	—	—	0,4431	0,433	—	—
36,4	1360	–5,1	100,9	—	—	—	0,4396	—	—	—
37,3	1370	0,0	109,2	—	—	—	0,4350	—	—	—

Таблица 43 – Физические свойства насыщенного пара аммиака.

Пересчет в СИ: 1кгс/см² = 9,81·10⁴ Па

Температура, °С	Давление (абсолютное), кгс/см ²	Удельный объем		Плотность		Удельная теплота испарения $r=i''-i'$, кДж/кг
		жидкости v' , дм ³ /кг	пара v'' , м ³ /кг	жидкости ρ' , кг/дм ³	пара ρ'' , кг/м ³	
–50	0,4168	1,4245	2,6170	0,7020	0,382	1416
–45	0,5562	1,4367	2,0015	0,6960	0,500	1402
–40	0,7318	1,4493	1,5503	0,6900	0,645	1388
–35	0,9503	1,4623	1,2151	0,6839	0,823	1374
–30	1,219	1,4757	0,9630	0,6777	1,038	1360
–25	1,546	1,4895	0,7712	0,6714	1,297	1345
–20	1,940	1,5037	0,6236	0,6650	1,604	1329
–15	2,410	1,5185	0,5087	0,6585	1,966	1314
–10	2,966	1,5338	0,4184	0,6520	2,390	1297
–5	3,619	1,5496	0,3469	0,6453	2,883	1281
0	4,379	1,5660	0,2897	0,6386	3,452	1263
+5	5,259	1,5831	0,2435	0,6317	4,108	1246

Продолжение таблицы 43

+10	6,271	1,6008	0,2058	0,6247	4,859	1227
+15	7,431	1,6193	0,1740	0,6175	5,718	1210
+20	8,741	1,6386	0,1494	0,6103	6,694	1188
+25	10,225	1,6588	0,1283	0,6028	7,795	1168
+30	11,895	1,6800	0,1107	0,5952	9,034	1146
+35	13,765	1,7023	0,0959	0,5875	10,431	1124
+40	15,850	1,7257	0,0833	0,5795	12,005	1101
+45	18,165	1,7504	0,0726	0,5713	12,774	1078
+50	20,727	1,7766	0,0635	0,5629	15,756	1053

Таблица 44 – Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от температуры.

Пересчет в СИ: $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$

Температура, °С	Давление (абсолютное), кгс/см ²	Удельный объем, м ³ /кг	Плотность, кг/м ³	Удельная энтальпия жидкости r , кДж/кг	Удельная энтальпия пара r , кДж/кг	Удельная теплота парообразования r , кДж/кг
0	0,0062	206,5	0,00484	0	2493,1	2493,1
5	0,0089	147,1	0,00680	20,95	2502,7	2481,7
10	0,0125	106,4	0,00940	41,90	2512,3	2470,4
15	0,0174	77,9	0,01283	62,85	2522,4	2459,5
20	0,0238	57,8	0,01729	83,80	2532,0	2448,2
25	0,0323	43,40	0,02304	104,75	2541,7	2436,9
30	0,0433	32,93	0,03036	125,70	2551,3	2425,6
35	0,0573	25,25	0,03960	146,65	2561,0	2414,3
40	0,0752	19,55	0,05114	167,60	2570,6	2403,0
45	0,0977	15,28	0,06543	188,55	2579,8	2391,3
50	0,1258	12,054	0,0830	209,50	2589,5	2380,0
55	0,1605	9,589	0,1043	230,45	2598,7	2368,2
60	0,2031	7,687	0,1301	251,40	2608,3	2356,9
65	0,2550	6,209	0,1611	272,35	2617,5	2345,2
70	0,3177	5,052	0,1979	293,30	2626,3	2333,0
75	0,393	4,139	0,2416	314,3	2636	2321
80	0,483	3,414	0,2929	335,2	2644	2310
85	0,590	2,832	0,3531	356,2	2653	2297
90	0,715	2,365	0,4229	377,1	2662	2285
95	0,862	1,985	0,5039	398,1	2671	2273
100	1,033	1,675	0,5970	419,0	2679	2260
105	1,232	1,421	0,7036	440,4	2687	2248
110	1,461	1,212	0,8254	461,3	2696	2234
115	1,724	1,038	0,9635	482,7	2704	2221
120	2,025	0,893	1,1199	504,1	2711	2207
125	2,367	0,7715	1,296	525,4	2718	2194
130	2,755	0,6693	1,494	546,8	2726	2179
135	3,192	0,5831	1,715	568,2	2733	2165
140	3,685	0,5096	1,962	589,5	2740	2150
145	4,238	0,4469	2,238	611,3	2747	2125
150	4,855	0,3933	2,543	632,7	2753	2120
160	6,303	0,3075	3,252	654,1	2765	2089
170	8,080	0,2431	4,113	719,8	2776	2056

Продолжение таблицы 44

180	10,23	0,1944	5,145	763,8	2785	2021
190	12,80	0,1568	6,378	808,3	2792	1984
200	15,85	0,1276	7,840	852,7	2798	1945
210	19,55	0,1045	9,567	897,9	2801	1904
220	23,66	0,0862	11,600	943,2	2803	1860
230	28,53	0,07155	13,98	989,3	2802	1813
240	34,13	0,05967	16,76	1035	2799	1763
250	40,55	0,04998	20,01	1082	2792	1710
260	47,85	0,04199	23,82	1130	2783	1653
270	56,11	0,03538	28,27	1178	2770	1593
280	65,42	0,02988	33,47	1226	2754	1528
290	75,88	0,02525	39,60	1275	2734	1459
300	87,6	0,02131	46,93	1327	2710	1384
310	100,7	0,01799	55,59	1380	2682	1302
320	115,2	0,01516	65,95	1437	2650	1213
330	131,3	0,01273	78,53	1498	2613	1117
340	149,0	0,01064	93,98	1564	2571	1009
350	168,6	0,00884	113,2	1638	2519	881,2
360	190,3	0,00716	139,6	1730	2444	713,6
370	214,5	0,00585	171,0	1890	2304	411,5
374	225	0,00310	322,6	2100	2100	0

Таблица 45 – Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления.
Пересчет в СИ: $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$

Давление (абсолютное), кгс/см ²	Температура, °С	Удельный объем, м ³ /кг	Плотность, кг/м ³	Удельная энтальпия жидкости <i>r</i> , кДж/кг	Удельная энтальпия пара <i>r</i> , кДж/кг	Удельная теплота парооб- разования <i>r</i> , кДж/кг
0,01	6,6	131,60	0,00760	27,7	2506	2478
0,015	12,7	89,64	0,01116	53,2	2518	2465
0,02	17,1	68,27	0,01465	71,6	2526	2455
0,025	20,7	55,28	0,01809	86,7	2533	2447
0,03	23,7	46,53	0,02149	99,3	2539	2440
0,04	28,6	35,46	0,02820	119,8	2548	2429
0,05	32,5	28,73	0,03481	136,2	2556	2420
0,06	35,8	24,19	0,04133	150,0	2562	2413
0,08	41,1	18,45	0,05420	172,2	2573	2400
0,10	45,4	14,96	0,06686	190,2	2581	2390
0,12	49,0	12,60	0,07937	205,3	2588	2382
0,15	53,6	10,22	0,09789	224,6	2596	2372
0,20	59,7	7,977	0,1283	250,1	2607	2358
0,30	68,7	5,331	0,1876	287,9	2620	2336
0,40	75,4	4,072	0,2456	315,9	2632	2320
0,50	80,9	3,304	0,3027	339,0	2642	2307

Продолжение таблицы 45

0,60	85,5	2,785	0,3590	358,2	2650	2296
0,70	89,3	2,411	0,4147	375,0	2657	2286
0,80	93,0	2,128	0,4699	389,7	2663	2278
0,90	96,2	1,906	0,5246	403,1	2668	2270
1,0	99,1	1,727	0,5790	415,2	2677	2264
1,2	104,2	1,457	0,6865	437,0	2686	2249
1,4	108,7	1,261	0,7931	456,3	2693	2237
1,6	112,7	1,113	0,898	473,1	2703	2227
1,8	116,3	1,997	1,003	483,6	2709	2217
2,0	119,6	0,903	1,107	502,4	2710	2208
3,0	132,9	0,6180	1,618	558,9	2730	2171
4,0	142,9	0,4718	2,120	601,1	2744	2141
5,0	151,1	0,3825	2,614	637,7	2754	2117
6,0	158,1	0,3222	3,104	667,9	2768	2095
7,0	164,2	0,2785	3,591	694,3	2769	2075
8,0	169,6	0,2454	4,075	718,4	2776	2057
9,0	174,5	0,2195	4,536	740,0	2780	2040
10	179,0	0,1985	5,037	759,6	2784	2024
11	183,2	0,1813	5,516	778,1	2787	2009
12	187,1	0,1668	5,996	795,3	2790	1995
13	190,7	0,1545	6,474	811,2	2793	1984
14	194,1	0,1438	6,952	826,7	2795	1968
15	197,4	0,1346	7,431	840,9	2796	1956
16	200,4	0,1264	7,909	854,8	2798	1943
17	203,4	0,1192	8,389	867,7	2799	1931
18	206,2	0,1128	8,868	880,3	2800	1920
19	208,8	0,1070	9,349	892,5	2801	1909
20	211,4	0,1017	9,83	904,2	2802	1898
30	232,8	0,06802	14,70	1002	2801	1800
40	249,2	0,05069	19,73	1079	2793	1715
50	262,7	0,04007	24,96	1143	2780	1637
60	274,3	0,03289	30,41	1199	2763	1565
70	284,5	0,02769	36,12	1249	2746	1497
80	293,6	0,02374	42,13	1294	2726	1432
90	301,9	0,02064	48,45	1337	2705	1369
100	309,5	0,01815	55,11	1377	2684	1306
120	323,1	0,01437	69,60	1455	2638	1183
140	335,0	0,01164	85,91	1531	2592	1061
160	345,7	0,00956	104,6	1606	2540	934
180	355,4	0,00782	128,0	1684	2483	799
200	364,2	0,00614	162,9	1783	2400	617
225	374,0	0,00310	322,6	2100	2100	0

**Таблица 46 – Давление насыщенного водяного пара при температурах от –20 до 100 С.
Пересчет в СИ: 1 мм рт. ст. = 133,31Па**

$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$
–20	0,772	5	6,54	30	31,82	55	118,0	80	355,1
19	0,850	6	7,01	31	33,70	56	123,8	81	369,7
18	0,935	7	7,51	32	35,66	57	129,8	82	384,9
17	1,027	8	8,05	33	37,73	58	136,1	83	400,6
16	1,128	9	8,61	34	39,90	59	142,6	84	416,8
15	1,238	10	9,21	35	42,18	60	149,4	85	433,6
14	1,357	11	9,84	36	44,56	61	156,4	86	450,9
13	1,486	12	10,52	37	47,07	62	163,8	87	468,7
12	1,627	13	11,23	38	49,65	63	171,4	88	487,1
11	1,780	14	11,99	39	52,44	64	179,3	89	506,1
10	1,946	15	12,79	40	55,32	65	187,5	90	525,8
9	2,125	16	13,63	41	58,34	66	196,1	91	546,1
8	2,321	17	14,53	42	61,50	67	205,0	92	567,0
7	2,532	18	15,48	43	64,80	68	214,2	93	588,6
6	2,761	19	16,48	44	68,26	69	223,7	94	610,9
5	3,008	20	17,54	45	71,88	70	233,7	95	633,9
4	3,276	21	18,65	46	75,65	71	243,9	96	657,6
3	3,566	22	19,83	47	79,60	72	254,6	97	682,1
2	3,879	23	21,07	48	83,71	73	265,7	98	707,3
–1	4,216	24	22,38	49	88,02	74	277,2	99	733,2
0	4,579	25	23,76	50	92,51	75	289,1	100	760,0
+1	4,93	26	25,21	51	97,20	76	301,4		
2	5,29	27	26,74	52	102,1	77	314,1		
3	5,69	28	28,35	53	107,2	78	327,3		
4	6,10	29	30,04	54	112,5	79	341,0		

Таблица 47 – Коэффициенты диффузии газов и паров в воздухе (при нормальных условиях)*

Газ	$D_0 \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$D_0, \text{м}^2/\text{ч}$
Азот	13,2	0,0175
Аммиак	17,0	0,0612
Бензол	7,7	0,0277
Водород	61,1	0,22
Водяной пар	21,9	0,079
Диоксид серы	10,3	0,037
» углерода	13,8	0,0497
Диэтиловый эфир	7,8	0,028
Кислород	17,8	0,064
Метиловый спирт	13,3	0,0478
Серный ангидрид	9,4	0,034
Сероуглерод	8,9	0,0321
Хлористый водород	13,0	0,0467
Этиловый спирт	10,2	0,0367
*При других температурах и давлениях $D = D_0 \frac{p_0}{p} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2}$.		

Таблица 48 – Коэффициенты диффузии некоторых газов в воде при 20°C*

Газ	$D_0 \cdot 10^9, \text{ м}^2/\text{с}$	$D_0 \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{ч}$
Азот	1,9	6,9
Аммиак	1,8	6,6
Водород	5,3	19,1
Диоксид углерода, оксид азота	1,8	6,4
Кислород	2,1	7,5
Хлор, сероводород	1,6	5,8
Хлористый водород (при 12°C)	2,3	8,3
*При других температурах $D_t = D_{20} \cdot [1 + 0,02(t - 20)]$.		

Таблица 49 – Значения коэффициента Генри Е для водных растворов некоторых газов (в таблице даны значения $E \cdot 10^{-6}$ в мм.рт.ст).

Пересчет в СИ: 1 мм.рт.ст. = 133,3 Па*

Газ	Температура, °C										
	0	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
Азот	40,2	45,4	50,8	56,1	61,1	65,7	70,2	79,2	90,9	95,9	95,4
Аммиак	0,00156	0,00168	0,0018	0,00193	0,00208	0,00223	0,00241	—	—	—	—
Ацетилен	0,55	0,64	0,73	0,82	0,92	1,01	1,11	—	—	—	—
Бром	0,0162	0,0209	0,0278	0,0354	0,0451	0,056	0,0688	0,101	0,191	0,307	—
Водород	44	46,2	48,3	50,2	51,9	53,7	55,4	57,1	58,1	57,4	56,6
Воздух	32,8	37,1	41,7	46,1	50,4	54,7	58,6	66,1	76,5	81,7	81,6
Двуокись серы	0,0125	0,0152	0,0184	0,022	0,0266	0,031	0,364	0,0495	0,839	0,128	—
Диоксид углерода	0,553	0,666	0,792	0,93	1,08	1,24	1,41	1,77	2,59	—	—
Кислород	19,3	22,1	24,9	27,7	30,4	33,3	36,1	40,7	47,8	52,2	53,3
Метан	17	19,7	22,6	25,6	28,5	31,4	34,1	39,5	47,6	51,8	53,3
Оксид углерода	26,7	30	33,6	37,2	40,7	44	47,1	52,9	62,5	64,3	64,3
Сероводород	0,203	0,239	0,278	0,321	0,367	0,414	0,463	0,566	0,782	1,03	1,12
Хлор	0,204	0,25	0,297	0,346	0,402	0,454	0,502	0,6	0,731	0,73	—
Хлористый водород	0,00185	0,00191	0,00197	0,00203	0,00209	0,00215	0,0022	0,00227	0,00224	—	—
Этан	9,55	11,8	14,4	17,2	20	23	26	32,2	42,9	50,2	52,6
Этилен	4,19	4,96	5,84	6,8	7,74	8,67	9,62	—	—	—	—

Таблица 50 – Равновесные составы жидкости (x) и пара (y) в % мол. и температуры кипения (t) в °С бинарной смеси при 760 мм.рт.ст.

Смесь	x	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Азеотропная смесь
Азотная кислота–вода	y t	0 100	0,3 103,5	1 108,6	5 117,5	16 121,4	46 121,5	83 116	95,5 101,5	98,7 91,7	99,5 87,5	99,9 85,6	100 85,4	38,3 121,9
Аммиак–вода (735 мм рт.ст.)	y t	0 99,1	49 82,5	72 69,8	89,3 48	97,6 29,2	99,2 11,8	100 –4	100 –16,5	100 –24,5	100 –29,5	100 –32	100 –33,7	— —
Ацетон–бензол	y t	0 80,1	14 78,3	24,3 76,4	40 72,8	51,2 69,6	59,4 66,7	66,5 64,3	73 62,4	79,5 60,7	86,3 59,6	93,2 58,8	100 56,1	— —
Ацетон–вода	y t	0 100	60,3 77,9	72 69,6	80,3 64,5	82,7 62,6	84,2 61,6	85,5 60,7	86,9 59,8	88,2 59	90,4 58,2	94,3 57,5	100 56,9	— —
Ацетон–метиловый спирт	y t	0 64,5	10,2 63,6	18,6 62,5	32,2 60,2	42,8 58,7	51,3 57,6	58,6 56,7	65,6 56	72,5 55,3	80 55,05	— —	100 56,1	80 55,05
Ацетон–этиловый спирт	y t	0 78,3	15,5 75,4	26,2 73	41,7 69	52,4 65,9	60,5 63,6	67,4 61,8	73,9 60,4	80,2 59,1	86,5 58	92,9 57	100 56,1	— —
Бензол–толуол	y t	0 110,6	11,5 108,3	21,4 106,1	38 102,2	51,1 98,6	61,9 95,2	71,2 92,1	79 89,4	85,4 86,8	91 84,4	95,9 82,3	100 80,2	— —
Бензол–уксусная кислота	y t	0 118,7	26 111,4	42 105,8	59 99	68,6 94	75 90,3	79 88	83 85,7	88 83,5	92,5 82	97 80,8	100 80,2	97,5 80
Вода–уксусная кислота	y t	0 118,1	9,2 115,4	16,7 113,8	30,3 110,1	42,5 107,5	53 105,8	62,6 104,4	71,6 103,3	79,5 102,1	86,4 101,3	93 100,6	100 100	— —
Изопропиловый спирт–вода	y t	0 100	48,5 84,4	53 82,5	60 81,2	64 81	66,5 80,6	68 80,5	68,4 80,4	70 80,5	77 81	83 82,3	100 82,4	68,5 80,4
Метиловый спирт–бензол	y t	0 80,2	38,5 66,9	50 61,1	56 58,6	58 58	59 57,8	60 57,7	61 57,6	62 57,6	66 58	75 59,6	100 64,9	61,4 57,6
Метиловый спирт–вода	y t	0 100	26,8 92,3	41,8 87,7	57,9 81,7	66,5 78	72,9 75,3	77,9 73,1	82,5 71,2	87 69,3	91,5 67,6	95,8 66	100 64,5	— —
Метиловый спирт–этиловый спирт	y t	0 78,3	7,4 77,2	14,3 76,5	27,1 75	39,6 73,6	51,5 72,2	62,6 70,8	72,3 69,4	79,8 68,2	86,6 66,9	93,2 65,9	100 64,9	— —
Муравьиная кислота–уксусная кислота	y t	0 118,1	8 116	14,6 115,4	26 112,8	38 110,7	48,5 108,8	57,6 107	66 105,4	74,6 103,9	83,6 102,5	92,2 101,4	100 100,8	— —
Сероуглерод–ацетон	y t	0 56,2	19 51,2	29 48,3	46 43,5	53,3 41,3	57,5 40,3	60,5 39,6	61 39,3	68 39,3	72,2 39,6	78 40,9	100 46,3	61 39,3
Сероуглерод–четырёххлористый углерод	y t	0 76,7	13,2 73,7	24 71	42,3 66	54,4 62,3	64,5 59	72,6 56,1	79,1 53,7	84,8 51,6	90,1 49,6	95 47,9	100 46,3	— —
Толуол–уксусная кислота	y t	0 118,1	15,5 111,3	25,5 108,9	37,2 105,6	46 103,3	54,1 101,7	57 100,8	61,5 100,6	66,5 100,6	71,8 100,9	81 102,6	100 110,8	62,7 100,6
Хлороформ–бензол	y t	0 80,6	6,5 80,1	12,6 79,6	27,2 78,4	41 77,2	54,6 75,9	33 74,5	74,6 73,1	83 71	90,5 68,7	96,2 65,7	100 61,5	— —
Четырёххлористый углерод–этиловый спирт	y t	0 77,9	21 73,7	33 70,8	48 67,2	54 65,3	56,5 64,6	58,8 64	62 63,6	65,8 64	72,2 65,6	82,3 68,5	100 75,9	63 63,6
Этилацетат–уксусная кислота	y t	0 118,1	14,4 —	28,7 —	50,6 —	65,4 —	77 —	85,6 —	92 —	96,1 —	98,9 —	99,8 —	100 77,1	— —
Этиловый спирт–бензол (735 мм рт.ст.)	y t	0 79,7	18 74,3	28,6 71,2	36,8 69	40,5 68,2	43,5 67,8	46,5 67,8	49,5 68,3	53,5 68,9	60 70,1	71 72,6	100 78,1	44,8 67,8
Этиловый спирт–вода	y t	0 100	33,2 90,5	44,2 86,5	53,1 83,2	57,6 81,7	61,4 80,8	65,4 80	69,9 79,4	75,3 79	81,8 78,6	89,8 78,4	100 78,4	89,4 78,15

Таблица 51 – Равновесные составы жидкости и пара для некоторых бинарных систем при $P_{\text{абс}} = 760$ мм рт.ст.

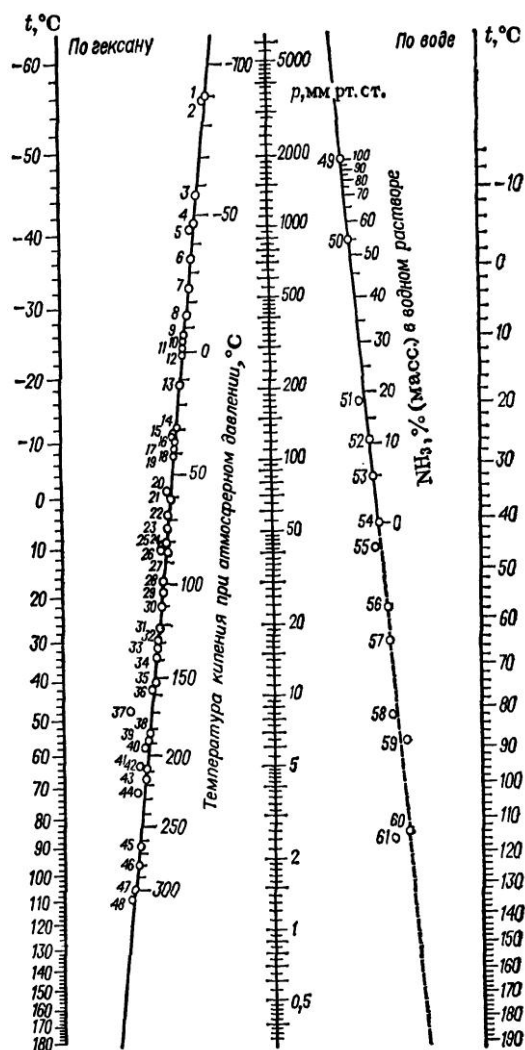
Метиловый спирт – вода			Хлороформ – бензол		
$t, ^\circ\text{C}$	% (мол.) метилового спирта		$t, ^\circ\text{C}$	% (мол.) хлороформа	
	в жидкости	в паре		в жидкости	в паре
96,4	2	13,4	80,6	0	0
93,5	4	23,0	79,8	8	10
91,2	6	30,4	79,0	15	20
87,7	10	41,8	78,2	22	30
81,7	20	57,9	77,3	29	40
78,0	30	66,5	76,4	36	50
75,3	40	72,9	75,3	44	60
73,1	50	77,9	74,0	54	70
71,2	60	82,5	71,9	66	80
69,3	70	87,0	68,9	79	90
67,5	80	91,5	61,4	100	100
66,0	90	95,8			
64,5	100	100			

Вода – уксусная кислота			Азот – кислород		
$t, ^\circ\text{C}$	% (мол.) воды		T, K	% (мол.) азота	
	в жидкости	в паре		в жидкости	в паре
118,1	0	0	90,1	0	0
115,4	5	9,2	89,5	3,5	13,0
113,8	10	16,7	89	6,2	20,2
110,1	20	30,2	88	11,5	30,4
107,5	30	42,5	87	17,1	39,7
105,8	40	53,0	86	22,2	47,8
104,4	50	62,6	85	27,7	55,7
103,2	60	71,6	84	33,8	63,1
102,1	70	79,5	83	40,5	70,1
101,3	80	86,4	82	47,8	76,4
100,6	90	93,0	81	56,6	82,3
100,0	100	100	80	66,6	88,0
			79	78,4	93,2
			78	91,9	97,8
			77,3	100	100

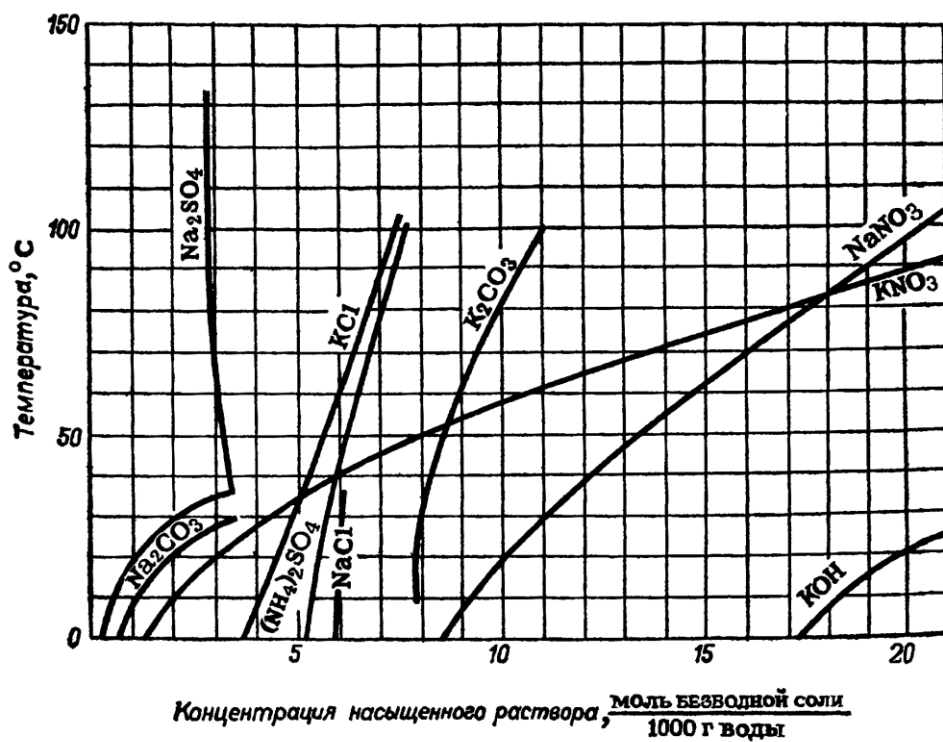
**33. Номограмма для определения давления насыщенного пара и температуры кипения
(на второй справа шкале отложены масс. % аммиака в водном растворе)**

Пересчет в СИ: 1 мм рт. ст. = 133,3 Н/м².

Вещество	№ точки	Вещество	№ точки
Аллен	6	Четыреххлористый углерод	23
Аммиак	49	Этан	1
Анилин	40	Этилацетат	5
Ацетилен	2	Этиленгликоль	59
Ацетон	51	Этиловый спирт	53
Бензол	24	Этилформиат	20
Бромбензол	35	Эфир диэтиловый	15
Бромистый Этил	18	Уксусная кислота	55
α -Бромнафталин	46	Фторбензол	27
1,3-Бутадиен	10	Хлорбензол	33
<i>n</i> -Бутан	11	Хлористый винил	8
α -Бутилен	9	Хлористый метил	7
β -Бутилен	12	Хлористый метилен	19
<i>n</i> -Бутиленгликоль	58	Хлористый этил	13
Вода	54	Хлороформ	21
<i>n</i> -Гексан	22		
<i>n</i> -Гептан	28		
Глицерин	60		
Декалин	38		
<i>n</i> -Декан	36		
Диоксан	29		
Дифенил	45		
1,2-Дихлорэтан	26		
Изопрен	14		
Иодбензол	39		
<i>m</i> -Крезол	44		
<i>o</i> -Крезол	41		
<i>m</i> -Ксилол	34		
<i>изо</i> -Масляная кислота	57		
Метиламин	50		
Метилмоносилан	3		
Метиловый спирт	52		
Метилформиат	16		
Нафталин	43		
α -Нафтол	47		
β -Нафтол	48		
Нитробензол	37		
<i>n</i> -Октан(W)	31		
<i>n</i> -Октан(Y)	32		
<i>n</i> -Пентан	17		
Пропан	5		
Пропилен	4		
Пропионовая кислота	56		
Ртуть	61		
Тетралин	42		
Толуол	30		

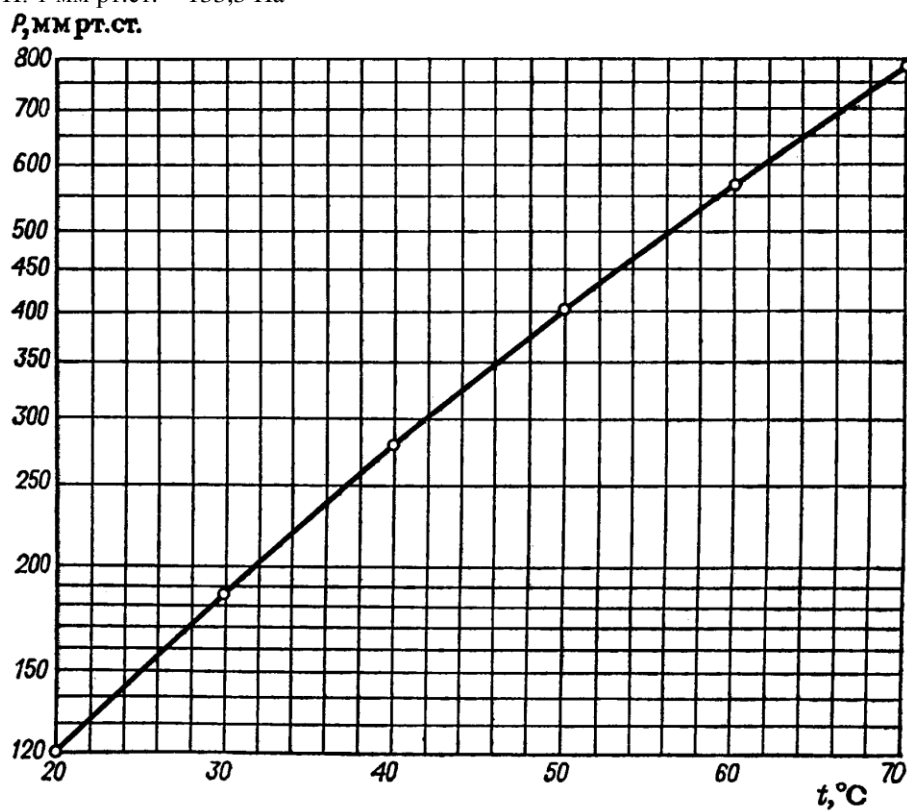


34. Растворимость некоторых солей в воде в зависимости от температуры

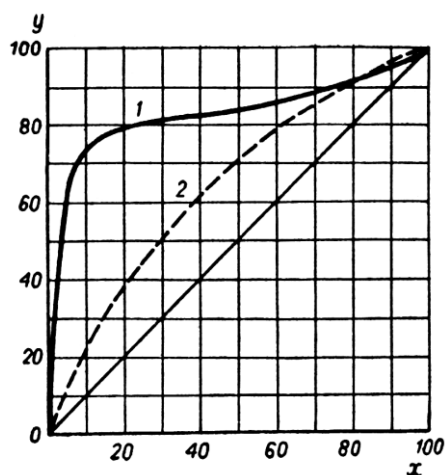


35. Зависимость давления насыщенного пара гексана от температуры

Пересчет в СИ: 1 мм рт.ст. = 133,3 Па

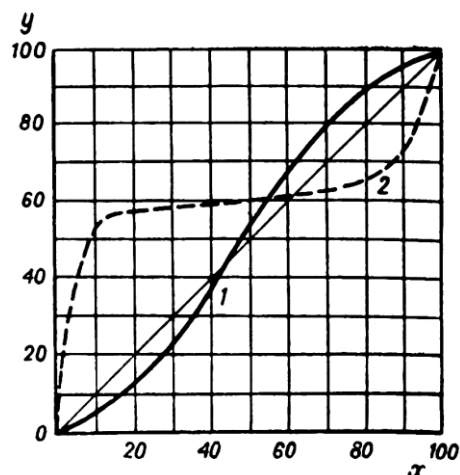


36. Кривые равновесия при $\Pi = 1$ ат



1 – ацетон; 2 – четыреххлористый углерод – толуол

37. Кривые равновесия при $\Pi = 1$ ат с азеотропной точкой

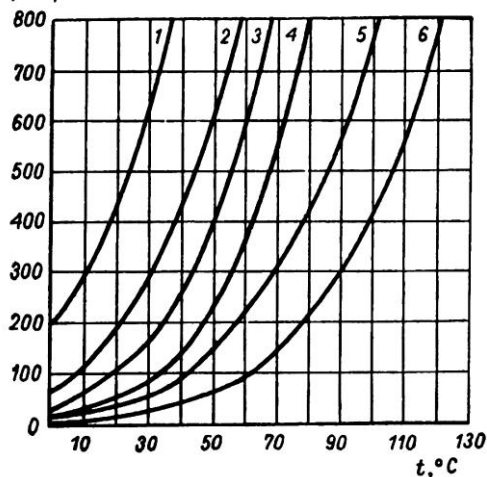


1 – вода – муравьиная кислота; 2 – метиловый спирт – бензол

38. Давление насыщенного пара некоторых органических жидкостей в зависимости от температуры

Пересчет в СИ: 1 мм рт.ст. = 133,3 Па.

P , мм рт.ст.

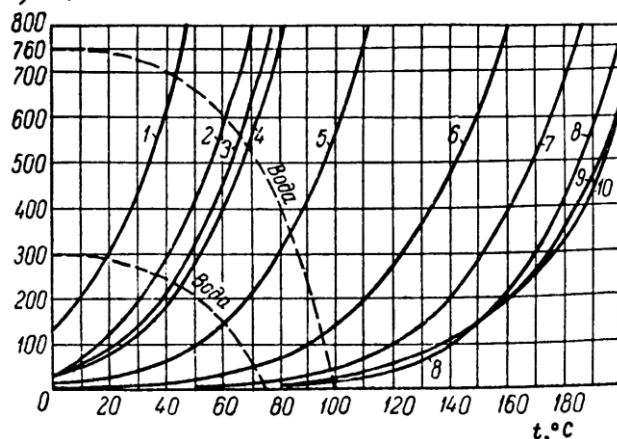


1 – диэтиловый эфир; 2 – ацетон; 3 – метиловый спирт;
4 – этиловый спирт; 5 – муравьиная кислота;
6 – уксусная кислота

39. Давление насыщенного пара органических жидкостей, не смешивающихся с водой, в зависимости от температуры

Пересчет в СИ: 1 мм рт.ст. = 133,3 Па.

P , мм рт.ст.



1 – сероуглерод; 2 – гексан;
3 – четыреххлористый углерод;
4 – бензол; 5 – толуол; 6 – скипидар; 7 – анилин;
8 – крезол; 9 – нитробензол; 10 – нитротолуол,

Таблица 52 – Степень извлечения [в % (масс.)] экстрагируемого вещества при обработке твердого материала в противотоке

Отношение потоков a	Число степеней экстрагирования n_c					
	1	2	3	4	5	6
1	50,00	66,67	75,00	80,00	83,33	85,71
2	66,67	85,71	93,00	96,77	98,42	99,21
3	75,00	92,31	97,50	99,17	99,73	99,91
4	80,00	95,24	98,82	99,71	99,93	—
5	83,33	96,77	99,36	99,87	99,97	—
6	85,71	97,67	99,61	99,94	—	—
7	87,50	98,24	99,75	99,96	—	—
8	88,89	98,63	99,83	99,98	—	—
9	90,00	98,90	99,88	99,99	—	—
10	90,90	99,10	99,91	—	—	—

Таблица 53 – Степень извлечения экстрагируемого вещества при последовательной обработке одинаковыми порциями свежего растворителя

Отношение потоков a	Число промывок							
	степень извлечения, % (масс.)	общий объем растворителя	степень извлечения, % (масс.)	общий объем растворителя	степень извлечения, % (масс.)	общий объем растворителя	степень извлечения, % (масс.)	общий объем растворителя
1	50	1	75,00	2	87,50	3	93,75	4
2	66,67	2	88,89	4	96,30	6	98,76	8
3	75	3	93,75	6	98,44	9	99,61	12
4	80	4	96,00	8	99,20	12	99,84	16
6	85,71	6	97,96	12	99,71	18	99,96	24
7	87,50	7	98,44	14	99,81	21	99,98	28
8	88,89	8	98,76	16	99,86	24	99,98	32
9	90	9	99,00	18	99,90	27	99,99	36
10	90,90	10	99,17	20	99,92	30	99,99	40

Таблица 54 – Растворимость некоторых органических растворителей в воде

Амиловый спирт $C_5H_{12}O$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Амиловый спирт	Вода		Амиловый спирт	Вода		Амиловый спирт	Вода
0,5	4,0	96,0	160,0	7,3	92,7	140,0	76,4	23,6
15,5	2,6	97,4	170,0	9,3	90,7	120,0	80,8	19,2
20,0	2,6	97,4	180,0	13,5	86,5	100,0	83,8	16,2
40,0	2,1	97,9	187,5	Крит. Точка		80,0	86,0	14,0
60,0	2,0	98,0				60,0	88,0	12,0
80,0	2,5	97,5				40,0	89,5	10,5
100,0	3,0	97,0	180,0	57,3	42,7	20,0	90,6	9,4
120,0	3,8	96,2	170,0	65,1	34,9	15,5	90,7	9,3
140,0	5,0	95,0	160,0	70,0	30,0			

Анилин C_6H_7N

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Анилин	Вода		Анилин	Вода		Анилин	Вода
13,8	3,611	96,389	140	13,5	86,5	120	85,4	14,6
30	3,7	96,3	150	17,1	82,9	110	87,0	13,0
50	4,2	95,8	160	22,0	78,0	90	90,1	9,9
70	5,0	95,0	165	26,1	73,9	70	92,3	7,7
90	6,4	93,6	160	68,0	32	50	93,6	6,4
110	8,0	92,0	150	76,0	24	30	94,6	5,4
120	9,1	90,9	140	80,5	19,5	20	94,88	5,12
130	11,2	88,8	130	83,1	16,9			

Бензол C_6H_6

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес	$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес	$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
0	0,153	30	0,190	70	0,227
10	0,163	40	0,206	80	0,324
20	0,175	50	0,225	90	0,393
25	0,180	60	0,250	107,4	0,504

Бензин

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
3	0,030
23	0,061
40	0,114
55	0,184
66	0,255
77	0,337

Бромистый этил C_2H_5Br

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
0	1,056
10	0,956
17,5	0,954
20	0,906
30	0,888

Бутилацетат $C_6H_{12}O_2$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Бутилацетат	Вода
25	2,3	97,7
25	97,6	2,4

Бутиловый спирт $C_4H_{10}O$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Бутиловый спирт	Вода		Бутиловый спирт	Вода
0	10,45	89,55	60	6,35	93,65
10	9,00	91,00	70	6,55	93,45
20	7,90	92,10	80	7,00	93,00
30	7,10	92,90	90	7,80	92,20
40	6,55	93,45	100	9,05	90,95
50	6,35	93,65	110	10,90	89,10

Гексиловый спирт $C_6H_{14}O$

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес	$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес	$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
0	0,78	40	0,52	80	0,62
10	0,67	50	0,515	90	0,68
20	0,59	60	0,53	100	0,785
30	0,545	70	0,565	110	0,89

Дихлорбензол $C_6H_4Cl_2$

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес			$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес		
	<i>o</i> – Дихлор–бензол	<i>m</i> – Дихлор–бензол	<i>n</i> – Дихлор–бензол		<i>o</i> – Дихлор–бензол	<i>m</i> – Дихлор–бензол	<i>n</i> – Дихлор–бензол
20	0,0134	0,0111	0,0069	40	0,0194	0,0167	—
25	0,0145	0,0123	0,0079	45	0,0203	0,0177	—
30	0,0171	0,0140	0,0093	55	0,0223	0,0196	—
35	0,0183	0,0150	—	60	0,0232	0,0201	—

Дихлорметан CH_2Cl_2

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Дихлорметан	Вода
0	2,308	97,692
10	2,078	97,922
20	1,961	98,039
30	1,931	98,069

Дибромметан CH_2Br_2

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Дибромметан	Вода
0	1,159	98,841
10	1,133	98,867
20	1,135	98,865
30	1,162	98,838

1, 1–Дихлорэтан $C_2H_4Cl_2$

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
0	0,652
10	0,591
20	0,547
25	0,503
30	0,537

1, 2–Дихлорэтан $C_2H_4Cl_2$

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
0	0,914
10	0,877
15	0,864
20	0,862
25	0,858
30	0,886

Диэтиловый эфир $C_4H_{10}O$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	эфир	Вода		эфир	Вода		эфир	Вода
0	11,6	88,4	50	4,1	95,9	40	98,5	1,50
5	10,2	89,8	60	3,7	96,3	30	98,68	1,32
10	8,7	91,3	70	3,2	96,8	25	98,74	1,26
15	7,6	92,4	80	2,8	97,2	20	98,8	1,20
20	6,5	93,5	80	97,8	2,2	15	98,85	1,25
25	5,7	94,3	70	98	2	10	98,88	1,12
30	5,1	94,9	60	98,2	1,8	5	98,95	1,05
40	4,5	95,5	50	98,3	1,7	0	99	1,00

Дибутилкетон C₉H₁₈O

t, °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
10	0,051	99,949
30	0,036	99,964
50	0,035	99,965

Диизобутилкетон C₉H₁₈O

t, °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
25	0,264	0,317

Дипропилкетон C₇H₁₄O

t, °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
0	0,727	99,273
10	0,528	99,472
30	0,380	99,620
50	0,327	99,673
75	0,309	99,691

Диизопропилкетон C₇H₁₄O

t, °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
20	0,59	99,41
25	0,57	99,43
30	0,56	99,44
30	99,15	0,85
25	99,19	0,81
20	99,24	0,76

Диэтилкетон C₅H₁₀O

t, °C	Взаимная растворимость, % вес		t, °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода		Кетон	Вода
20	5,08	94,92	30	98,17	1,83
25	4,81	95,19	25	98,38	1,62
30	4,5	95,50	20	98,55	1,45

Изоамиловый спирт C₅H₁₂O

t, °C	Взаимная растворимость, % вес		t, °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Спирт	Вода		Спирт	Вода
15	3,04	96,96	30	89,85	10,15
20	2,82	97,18	25	90,13	9,87
25	2,67	97,33	20	90,40	9,60
30	2,56	97,44	15	90,67	9,33

Изобутиловый спирт C₅H₁₀O

t, °C	Взаимная растворимость, % вес		t, °C	Взаимная растворимость, % вес		t, °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Спирт	Вода		Спирт	Вода		Спирт	Вода
0	13,0	87,0	120	16,0	84,0	80	77,5	22,5
20	9,0	91,0	130	28,0	72,0	60	82,0	18,0
40	7,5	92,5	133	49,0	51,0	40	83,0	17,0
60	7,0	93,0	130	50,0	50,0	20	84,0	16,0
80	7,0	93,0	120	62,0	38,0	0	85,0	15,0
100	8,0	92,0	100	72,0	28,0			

Изопропилбензол C₉H₁₂

<i>t</i> , °C	Растворимость, % вес	<i>t</i> , °C	Растворимость, % вес	<i>t</i> , °C	Растворимость, % вес
24,93	0,0012050	44,90	0,0014162	65,15	0,0018624
29,97	0,0012416	49,89	0,0015037	70,31	0,0020302
34,91	0,0012825	54,91	0,0016011	75,09	0,0022064
39,95	0,0013447	59,97	0,0017221	80,20	0,0024212

Изопропиловый эфир C₆H₁₄O

<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес		<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Эфир	Вода		Эфир	Вода
20	0,9	99,1	60	99,0	1,0
35	0,7	99,3	35	99,0	1,0
60	0,7	99,3	20	99,2	0,8

Йодистый этил C₂H₅I

<i>t</i> , °C	Растворимость, % вес
0	0,439
10	0,412
20	0,401
22,5	0,388
30	0,402

Ксилол C₈H₁₀

<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Ксилол	Вода
10	0,0076	99,9924
25	0,0130	99,9870
10	99,9815	0,0185
25	99,9616	0,0384

Керосин

<i>t</i> , °C	Растворимость, % вес	<i>t</i> , °C	Растворимость, % вес
-2	0,0012	59	0,031
18	0,005	61	0,035
23	0,007	66	0,043
30	0,008	79	0,063
36	0,012	85	0,075
53	0,026	94	0,097

Метилбутилкетон C₆H₁₂O

<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
20	1,75	98,25
25	1,64	98,36
30	1,53	98,47
30	97,64	2,36
25	97,75	2,25
20	97,88	2,12

Метилизобутилкетон C₆H₁₂O

<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
20	2,04	97,96
25	1,91	98,09
30	1,78	98,22
30	97,80	2,20
25	97,93	2,07
20	97,59	2,41

Метилпропилкетон C₅H₁₀O

<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
20	5,95	94,05
25	5,51	94,49
30	5,18	94,82
30	96,32	3,68
25	96,52	3,48
20	96,70	3,30

Метилизопропилкетон C₅H₁₀O

<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
20	6,53	93,47
25	6,08	93,92
30	5,68	94,32
30	97,24	2,76
25	97,43	2,57
20	97,61	2,39

Метилциклогексанон C₇H₁₂O (*t* = 25°C)

Взаимная растворимость, % вес	
Метилциклогексанон	Вода
1,29	1,41

Метилэтилкетон C₄H₈O

<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
20	27,33	72,67
25	25,77	74,23
30	24,07	75,93
30	88,15	11,85
25	88,28	11,72
20	88,41	11,59

Нитробензол C₆H₅NO₂

<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес		<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес		<i>t</i> , °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Нитробензол	Вода		Нитробензол	Вода		Нитробензол	Вода
20	0,19	99,81	230	15,8	84,2	180	93,7	6,3
40	0,3	99,7	240	23,0	77,0	160	95,8	4,2
60	0,4	99,6	241	26,0	74,0	140	97,2	2,8
80	0,8	99,2	242	32,0	68,0	120	98,2	1,8
100	1,0	99,0	244,5	50,1	49,9	100	98,7	1,3
120	1,3	98,7	242	58,0	42,0	80	99,0	1,0
140	1,9	98,1	241	67,0	33,0	60	99,3	0,7
160	2,8	97,2	240	72,0	28,0	40	99,6	0,4
180	4,2	95,8	230	83,0	17,0	20	99,76	0,24
200	7,2	92,8	220	87,0	13,0			
220	11,8	88,2	200	91,0	9,0			

Сероуглерод CS₂

<i>t</i> , °C	Растворимость, % вес	<i>t</i> , °C	Растворимость, % вес	<i>t</i> , °C	Растворимость, % вес
0	0,204	20	0,179	40	0,111
5	0,199	25	0,169	45	0,070
10	0,194	30	0,155	49	0,014
15	0,187	35	0,137		

1,1,1,2-Тетрахлорэтан $C_2H_2Cl_4$

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
0	0,120
20	0,109
35	0,115
50	0,125

1,1,1-Трихлорэтан $C_2H_3Cl_3$

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
0	0,159
20	0,132
35	0,126
50	0,128

1,1,2-Трихлорэтан $C_2H_3Cl_3$

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
0	0,464
20	0,434
35	0,456
50	

Толуол C_7H_8

$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес	$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес	$t, ^\circ C$	Растворимость, % вес
-10	0,02	25	0,050	60	0,15
0	0,027	30	0,057	70	0,21
10	0,035	40	0,075	80	0,275
20	0,045	50	0,10	90	0,375

Триэтиламин $C_6H_{15}N$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Амин	Вода		Амин	Вода		Амин	Вода
60	2,23	97,77	25	7,30	92,70	30	96,60	3,40
50	2,87	97,13	20	14,24	85,76	40	96,48	3,52
40	3,65	96,35	20	72,00	28,00	50	96,40	3,60
30	5,80	94,20	25	95,18	4,82	60	96,30	3,70

Фурфурол $C_5H_4O_2$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Фурфурол	Вода		Фурфурол	Вода		Фурфурол	Вода
10	7,9	92,1	80	14,8	85,2	60	91,4	8,6
20	8,3	91,7	90	16,6	83,4	50	92,4	7,6
30	8,8	91,2	97,9	18,4	81,6	40	93,3	6,7
40	9,5	90,5	97,9	84,1	15,9	30	94,2	5,8
50	10,4	89,6	90	86,7	13,3	20	95,2	4,8
60	11,7	88,3	80	88,7	11,3	10	96,1	3,9
70	13,2	86,8	70	90,3	9,7			

Хлорбензол C_6H_5Cl ($t=25^\circ C$)

Взаимная растворимость, % вес	
Хлорбензол	Вода
0,18	0,11

Хлороформ $CHCl_3$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Хлороформ	Вода		Хлороформ	Вода
0,0	0,983	99,017	29,4	0,703	99,297
3,2	0,887	99,113	41,6	0,710	99,290
17,4	0,710	99,290	54,9	0,773	99,227

Циклогексанол $C_6H_{12}O$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Циклогексанол	Вода		Циклогексанол	Вода
0	5,35	94,65	184	33,9	66,1
10	4,57	95,43	180	52,3	47,7
20	4,00	96,00	170	63,8	36,2
30	3,60	96,40	160	70,5	29,5
40	3,33	96,67	150	74,7	25,3
50	3,14	96,86	140	76,4	23,6
54	3,10	96,90	130	79,3	20,7
62	3,10	96,90	120	80,7	19,3
70	3,19	96,81	110	81,9	18,1
80	3,41	96,59	100	82,96	17,04
90	3,65	96,35	90	83,93	16,07
100	3,93	96,07	80	84,83	15,17
110	4,28	95,72	70	85,66	14,34
120	4,7	95,3	60	86,42	13,58
130	5,3	94,7	50	87,11	12,89
140	6,1	93,9	40	87,77	12,23
150	7,2	92,8	30	88,37	11,63
160	8,8	91,2	20	88,93	11,07
170	11,5	88,5	10	89,46	10,54
180	17,8	82,2	0	89,97	10,03

Четыреххлористый углерод CCl_4

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Четыреххлористый углерод	Вода		Четыреххлористый углерод	Вода
15	0,077	99,923	40	99,985	0,015
25	0,077	99,923	30	99,989	0,011
30	0,081	99,919	20	99,992	0,008
50	99,976	0,024	10	99,993	0,007

Этилацетат $C_4H_8O_2$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес		$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Этилацетат	Вода		Этилацетат	Вода
0	10,08	89,92	40	96,070	3,930
10	8,817	91,183	30	96,600	3,400
20	7,859	92,141	25	96,805	3,195
25	7,476	92,524	20	97,040	2,960
30	7,158	92,842	10	97,390	2,610
40	6,629	93,371	0	97,714	2,286

Этилпропилкетон $C_6H_{12}O$

$t, ^\circ C$	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
20	1,57	98,43
25	1,47	98,53
30	1,38	98,62
30	98,30	1,70
25	98,38	1,62
20	98,47	1,53

Этилизопропилкетон C₆H₁₂O

t, °C	Взаимная растворимость, % вес	
	Кетон	Вода
	1,63	98,37
25	1,52	98,48
30	1,42	98,58
30	98,60	1,40
25	98,69	1,31
20	98,79	1,21

Таблица 55 – Удельная теплота адсорбции углем некоторых органических веществ

Вещество	Формула	Теплота адсорбции	
		кДж/кмоль	кДж/кг
Бензин	—	50280	628,5
Бензол *	C ₆ H ₆	61590	789,8
Бутил хлористый	CH ₃ (CH ₂) ₃ Cl	65360	706,4
втор-Бутил хлористый	(CH) ₃ CHClC ₂ H ₅	60340	652,4
трет-Бутил хлористый	(CH ₃) ₃ CCl	56980	615,9
Дихлорметан	CH ₂ Cl ₂	51960	611,3
Изопропил хлористый	CH ₃ CHClCH ₃	54890	699,3
Метан	CH ₄	18860	1230
Метил хлористый	CH ₃ Cl	38550	763,4
Пропил хлористый	CH ₃ (CH ₂) ₂ Cl	61170	779,3
Сероуглерод *	CS ₂	52380	689,3
Спирт метиловый	CH ₃ OH	54890	1715
» пропиловый	C ₃ H ₇ OH	68720	1145
» этиловый *	C ₂ H ₅ OH	62850	1366
Углерод четыреххлористый *	CCl ₄	64110	415,2
Хлороформ	CHCl ₃	60760	508,2
Этил бромистый *	C ₂ H ₅ Br	58240	534,6
» йодистый *	C ₂ H ₅ I	58660	376,3
» хлористый *	C ₂ H ₅ Cl	50280	779,3
Этилформиат *	HCOOC ₂ H ₅	60760	820,8
Эфир диэтиловый *	(C ₂ H ₅) ₂ O	64950	877,8
Примечания.			
1. Величины теплоты адсорбции даны для условий поглощения 1 кмоль пара 500 кг угля при 0 °C (за исключением бензина, для которого соотношение между количествами поглощенного вещества и угля не указывается).			
2. Звездочкой отмечены вещества, для которых теплота адсорбции рассчитана по формуле $q=man$ (в Дж/кг угля).			

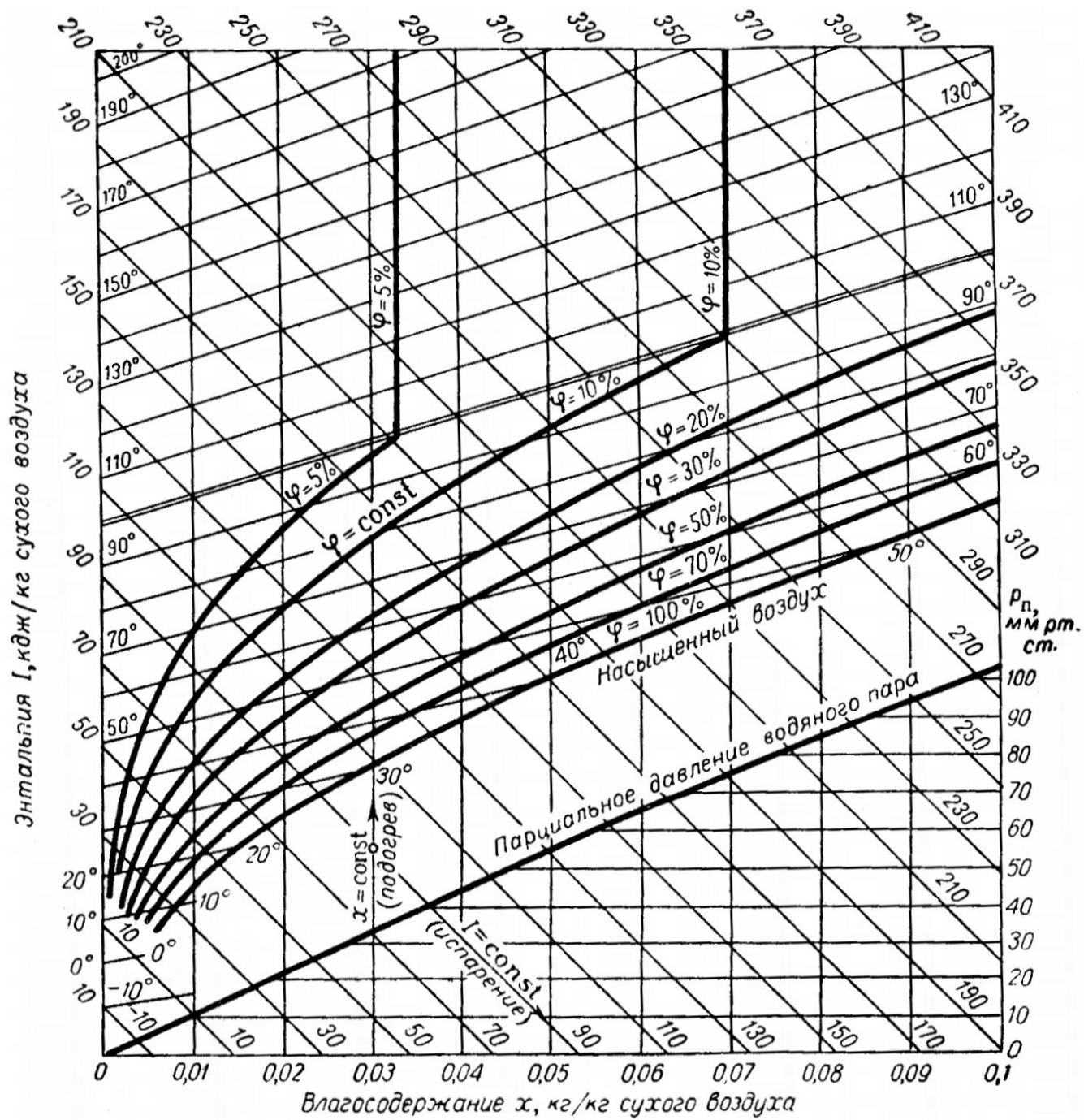
Таблица 56 – Удельная теплота растворения q некоторых солей в воде (1 кмоль соли в n кмоль воды)

Формула соли	Молярная масса, кг/кмоль	q, кДж/кмоль	n
NaCl	58,5	+4944	100
Na ₂ SO ₄	142	-1927	400
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	322	+78600	400
NaNO ₃	85	+21080	200
K ₂ CO ₃ ·1,5H ₂ O	165	+1590	400
KCl	74,6	+17560	100
KNO ₃	101	+35700	200
KOH·2H ₂ O	92	+126	170+ 30
(NH ₄) ₂ SO ₄	132	+9930	400
CaCl ₂ ·6H ₂ O	219	+18060	400
MgCl ₂ ·6H ₂ O	203	-12360	400
Примечание. Знак плюс обозначает растворение с поглощением теплоты, знак минус – с выделением теплоты.			

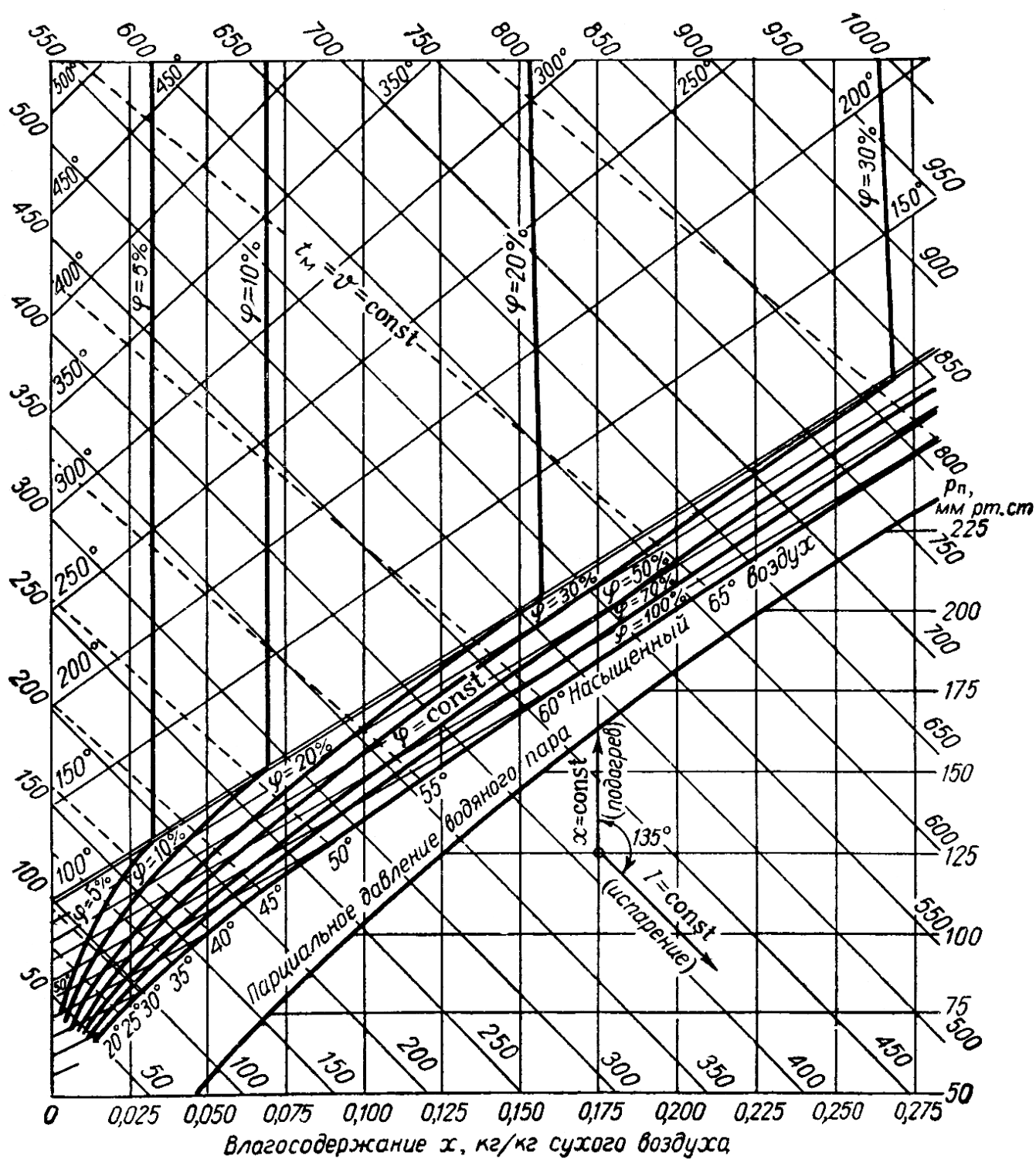
Таблица 57 – Средняя температура и относительная влажность атмосферного воздуха в некоторых районах СНГ

Наименование пункта	Январь		Июль	
	<i>t</i> , °C	φ , %	<i>t</i> , °C	φ , %
Алма-Ата	–8,6	87	22,1	56
Архангельск	–13,3	88	15,3	79
Астрахань	–7,1	91	25,2	58
Ашхабад	–0,4	86	29,6	41
Баку	+3,4	82	25,3	65
Благовещенск	–24,2	78	21,2	72
Брянск	–8,8	88	18,2	74
Владивосток	–13,7	74	20,6	77
Волгоград	–9,9	85	24,7	50
Вологда	–12,0	85	17,6	70
Воронеж	–9,8	90	20,6	62
Горький	–12,2	89	19,4	68
Грозный	–4,9	93	23,9	70
Днепропетровск	–6,0	88	22,3	60
Ереван	–5,8	89	25,0	50
Иваново	–12,0	90	18,8	71
Иркутск	–20,9	85	17,2	72
Казань	–13,6	86	19,9	63
Киев	–6,0	89	19,3	69
Киров	–15,1	86	18,1	71
Кировоград	–5,8	88	20,9	60
Красноводск	–2,4	78	28,6	46
Краснодар	–2,1	90	23,7	67
Красноярск	–18,2	81	19,3	72
Курск	–9,3	88	19,4	67
Кутаиси	–4,4	75	23,8	73
С.-Петербург	–7,7	87	17,5	69
Минск	–6,8	88	17,5	78
Москва	–10,8	88	18,0	70
Николаев	–4,0	88	23,1	63
Новгород	–8,4	88	17,6	78
Новороссийск	–2,0	75	23,6	68
Новосибирск	–19,3	83	18,7	59
Одесса	–3,1	88	22,6	61
Омск	–19,6	85	19,1	70
Орел	–9,5	92	18,6	77
Пермь	–16,0	84	18,0	72
Псков	–7,1	86	17,5	72
Ростов н/Д	–6,1	89	23,7	59
Саратов	–11,3	84	23,1	53
Свердловск	–16,2	84	17,2	70
Смоленск	–8,4	88	17,6	78
Тамбов	–11,1	88	20,0	68
Ташкент	–1,3	81	26,8	46
Тбилиси	–0,1	80	24,5	51
Томск	–19,4	82	18,8	76
Уральск	–14,0	85	23,5	47
Уфа	–15,0	86	19,4	67
Харьков	–7,7	88	20,3	65
Целиноград	–17,0	85	20,3	59
Чита	–27,4	82	18,7	65

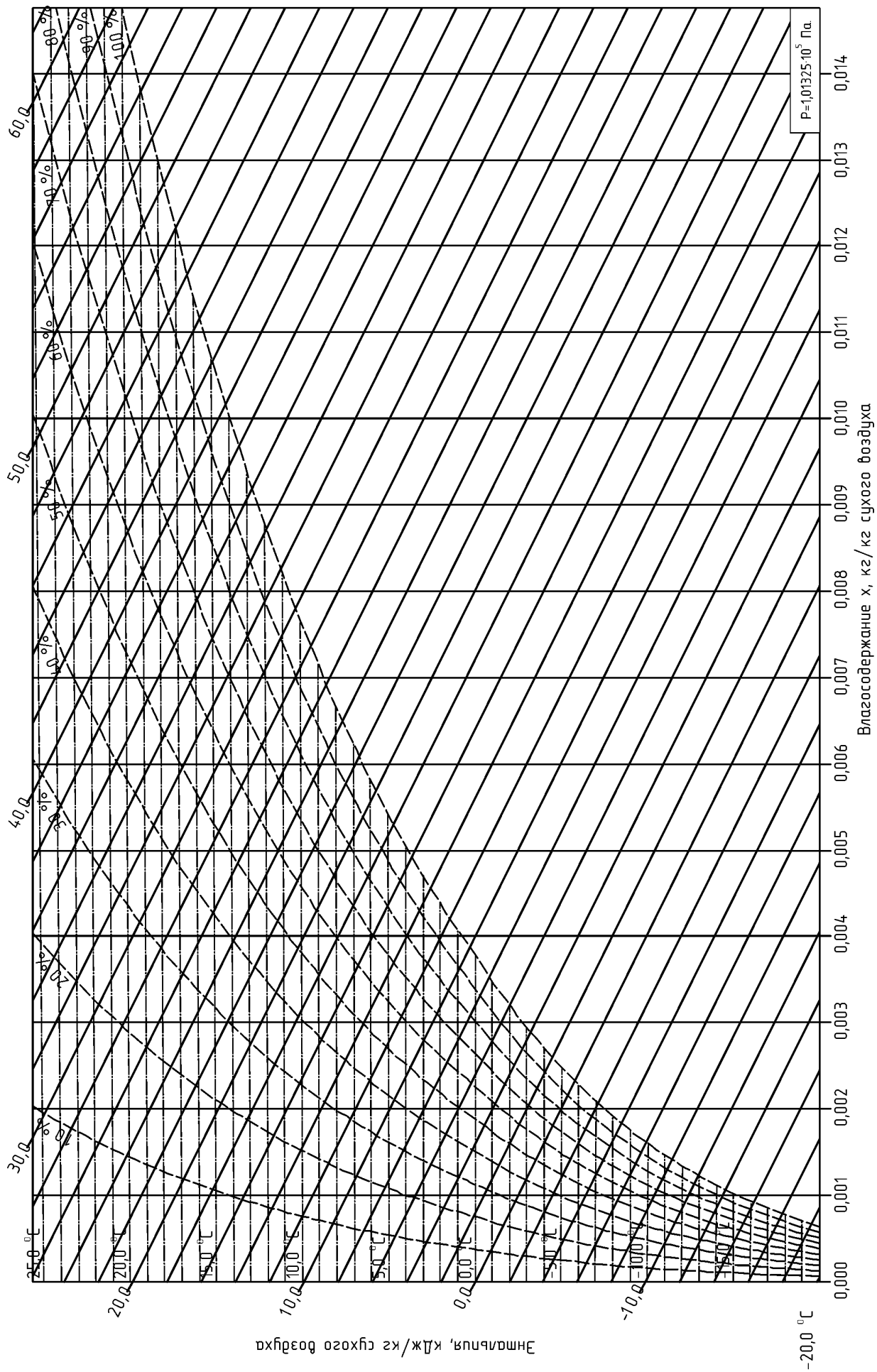
40. Диаграмма Рамзина



для умеренных температур

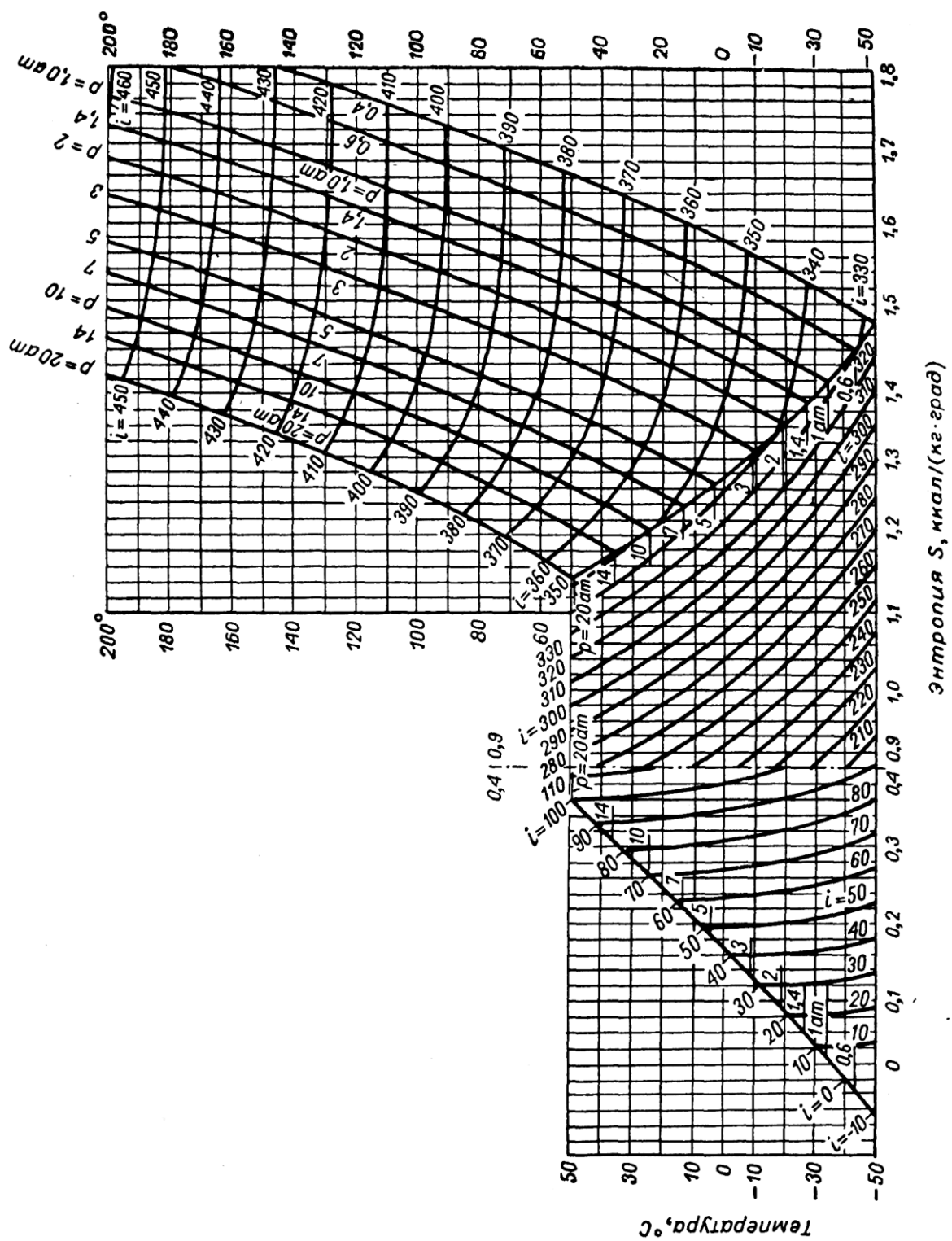


для высоких температур

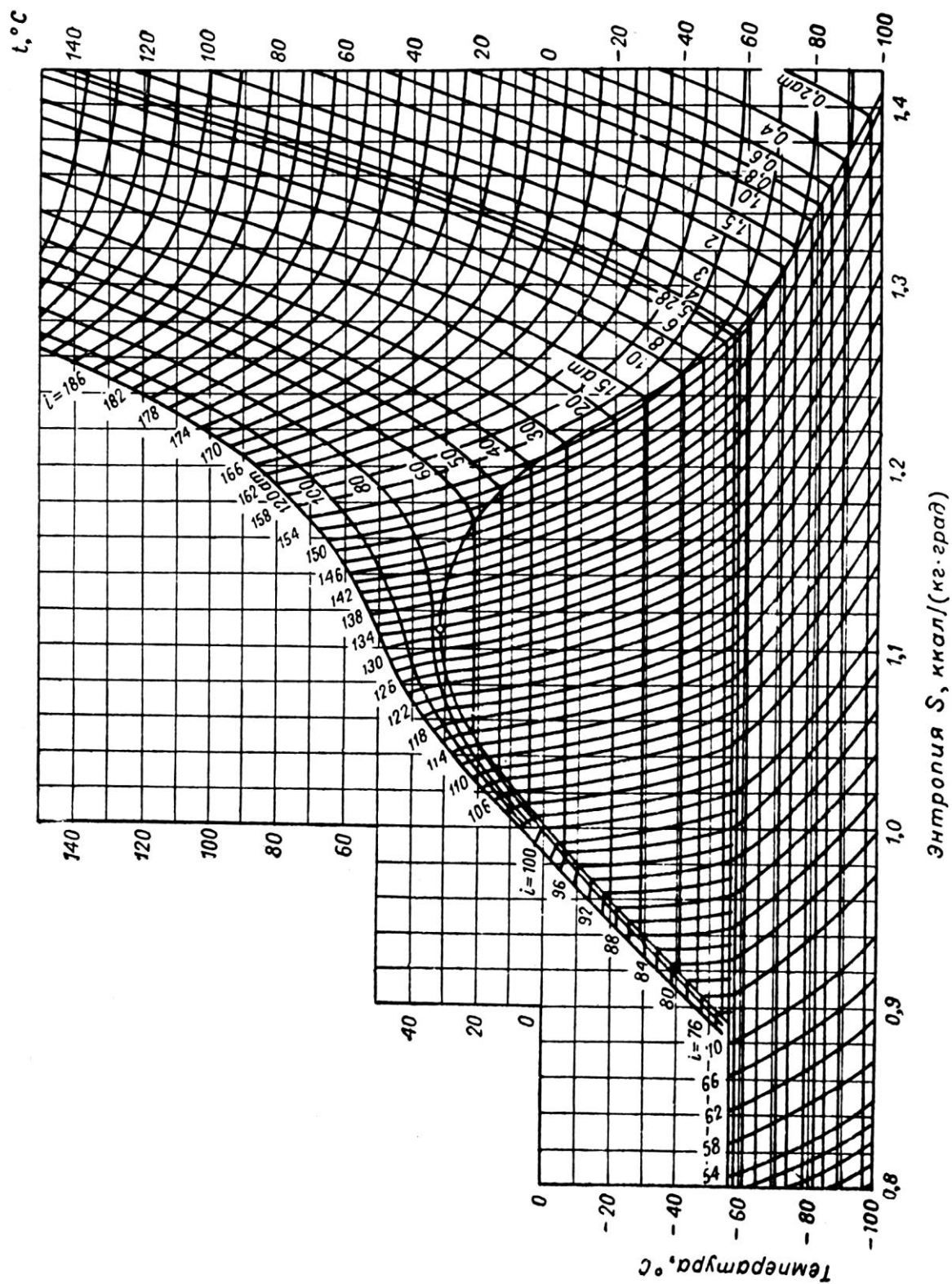


для низких температур

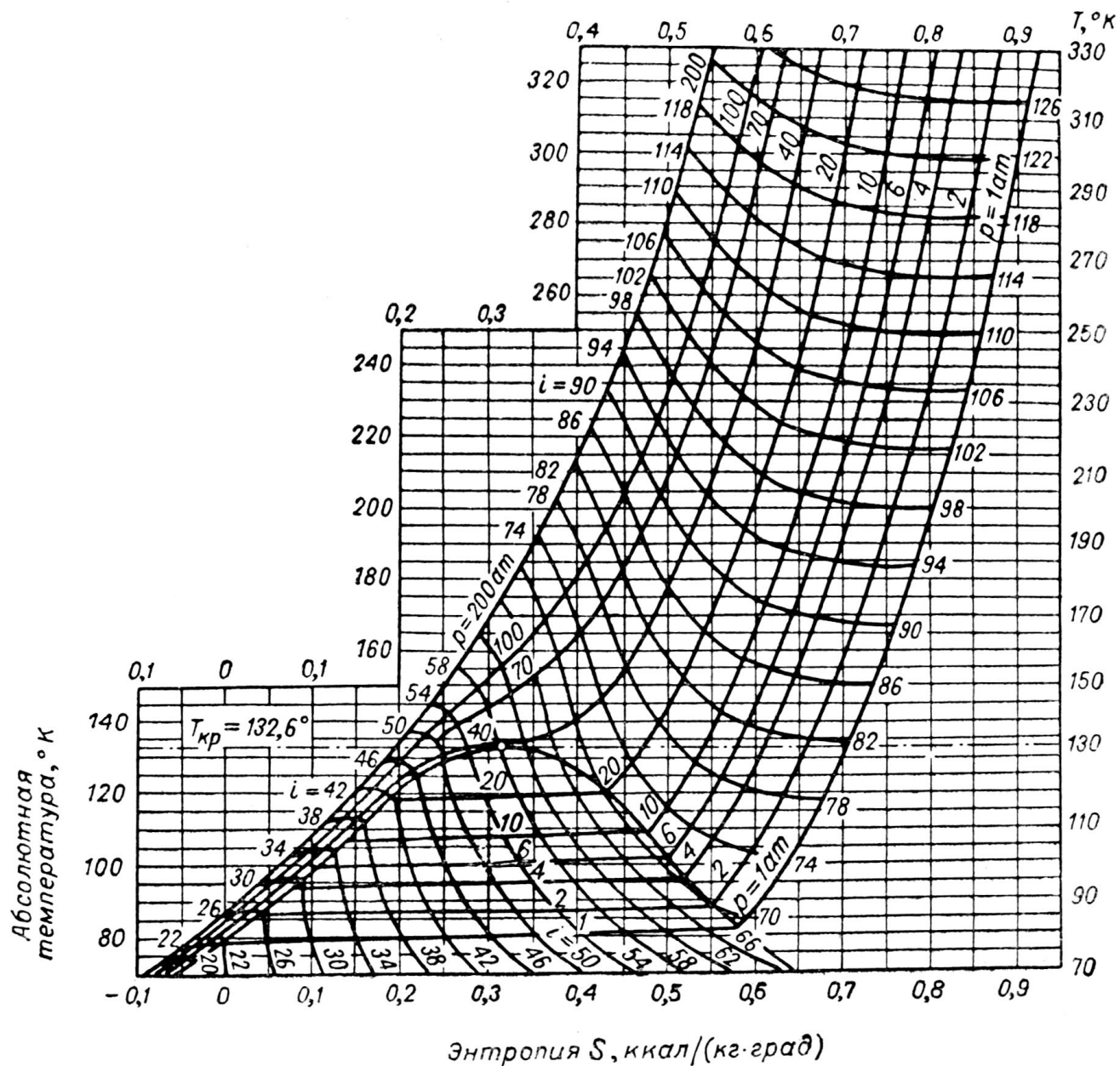
41. $T - S$ диаграмма для аммиака
 Пересчет в СИ: 1 ат = 9,81·103 н/м²; 1 ккал/кг = 4,19 кДж/кг



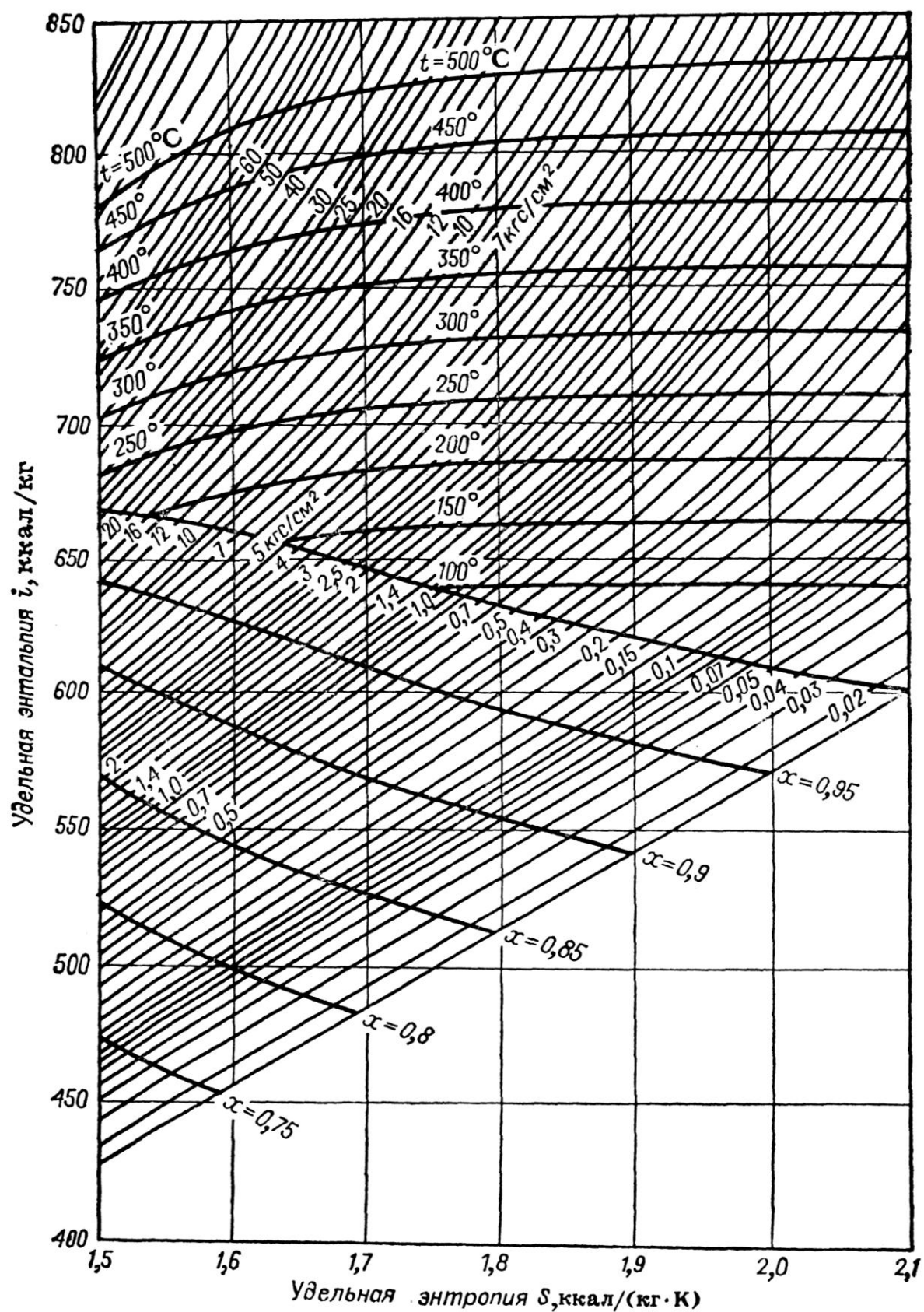
42. $T - S$ диаграмма для двуокиси углерода.
 Пересчет в СИ: 1 ат = $9,81 \cdot 10^3$ н/м²; 1 ккал/кг = 4,19 кДж/кг



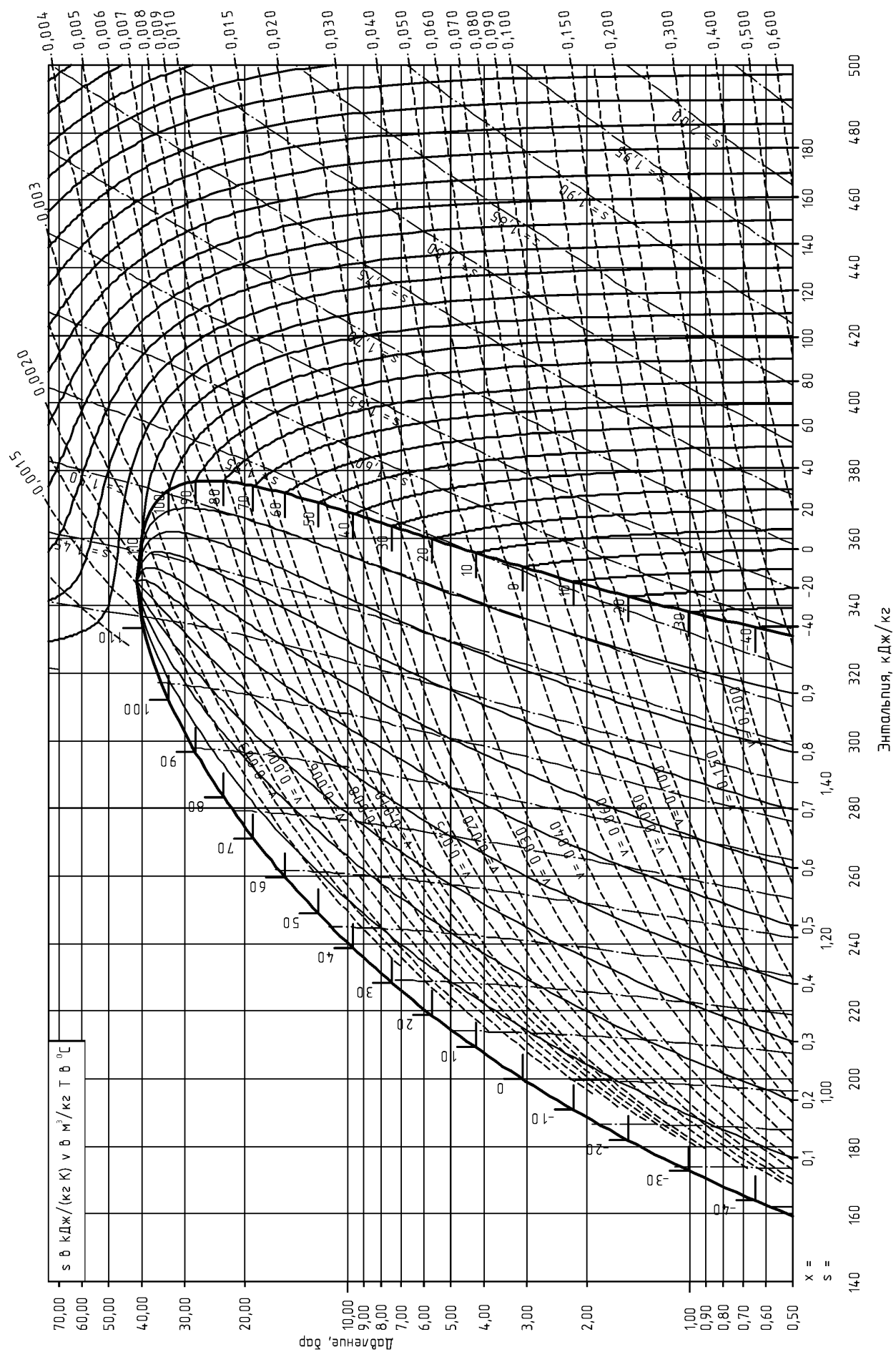
43. $T-S$ диаграмма для воздуха.
 Пересчет в СИ: $1 \text{ ат} = 9,81 \cdot 10^3 \text{ н/м}^2$; $1 \text{ ккал/кг} = 4,19 \text{ кДж/кг}$



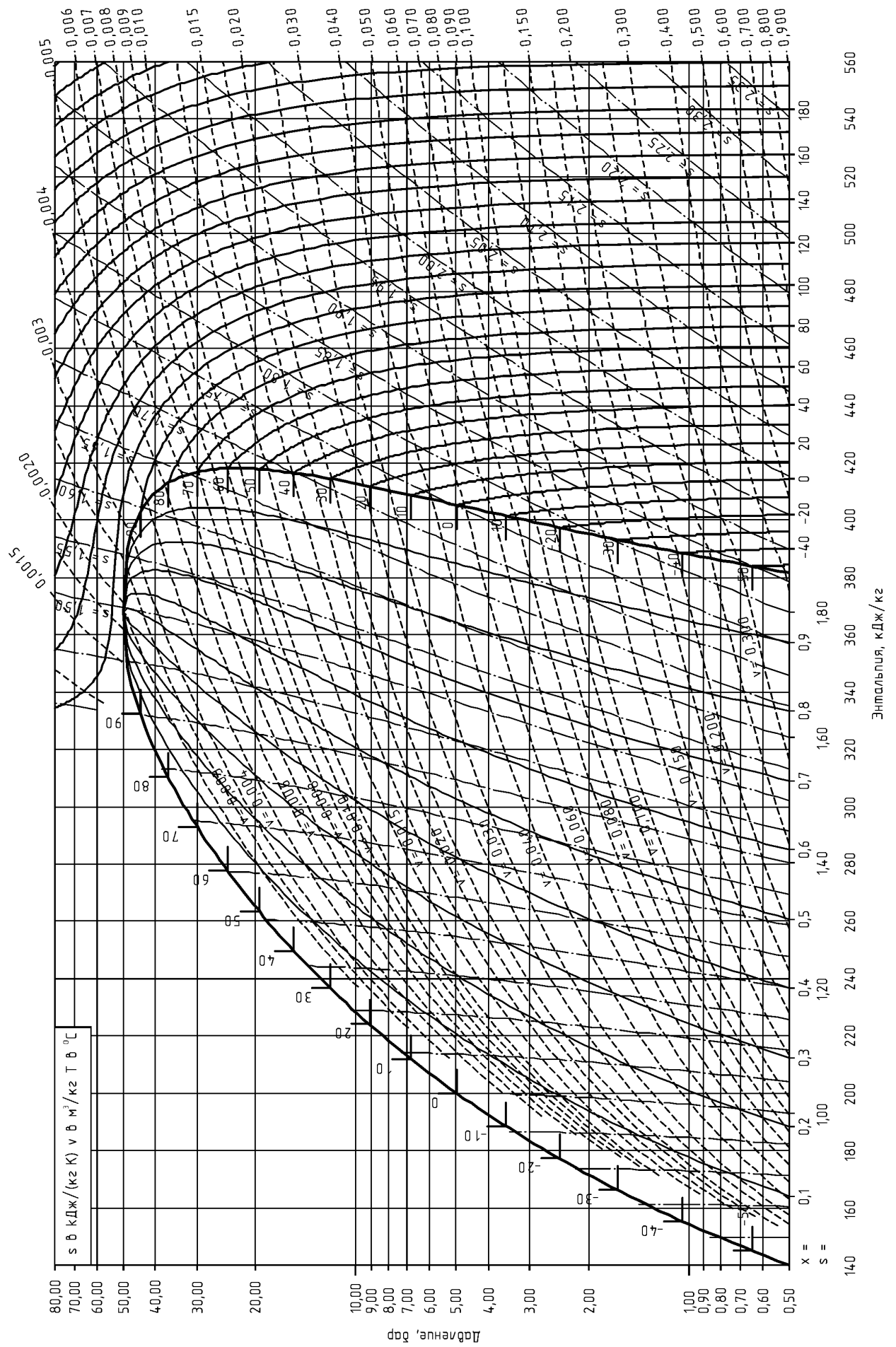
44. $i - S$ диаграмма для водяного пара.
 Пересчет в СИ: 1 ккал/кг = 4,19 кДж/кг; 1 кгс/см² = 9,81·10⁵ Па



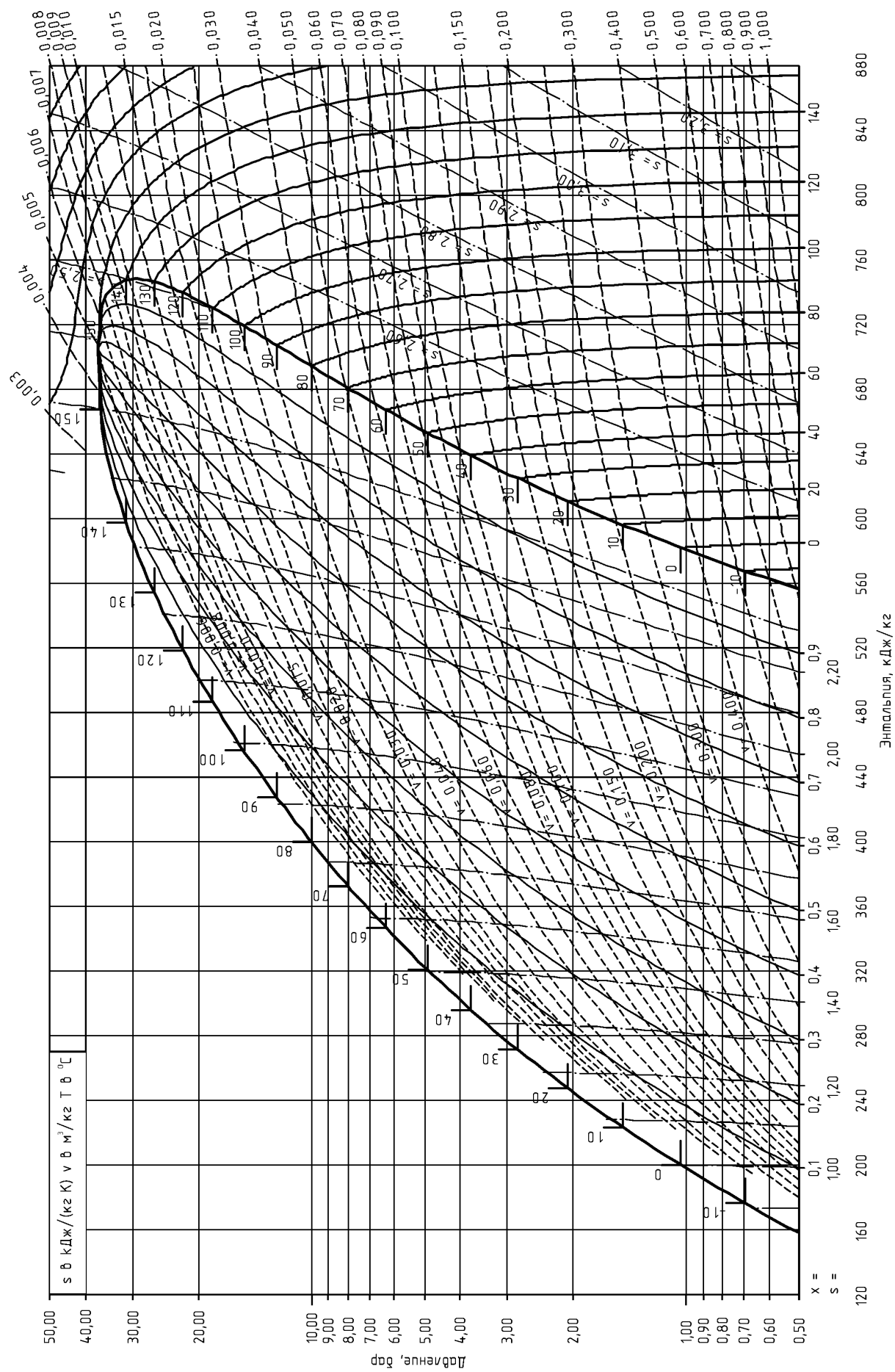
45. $i - P$ диаграмма для фреон-12



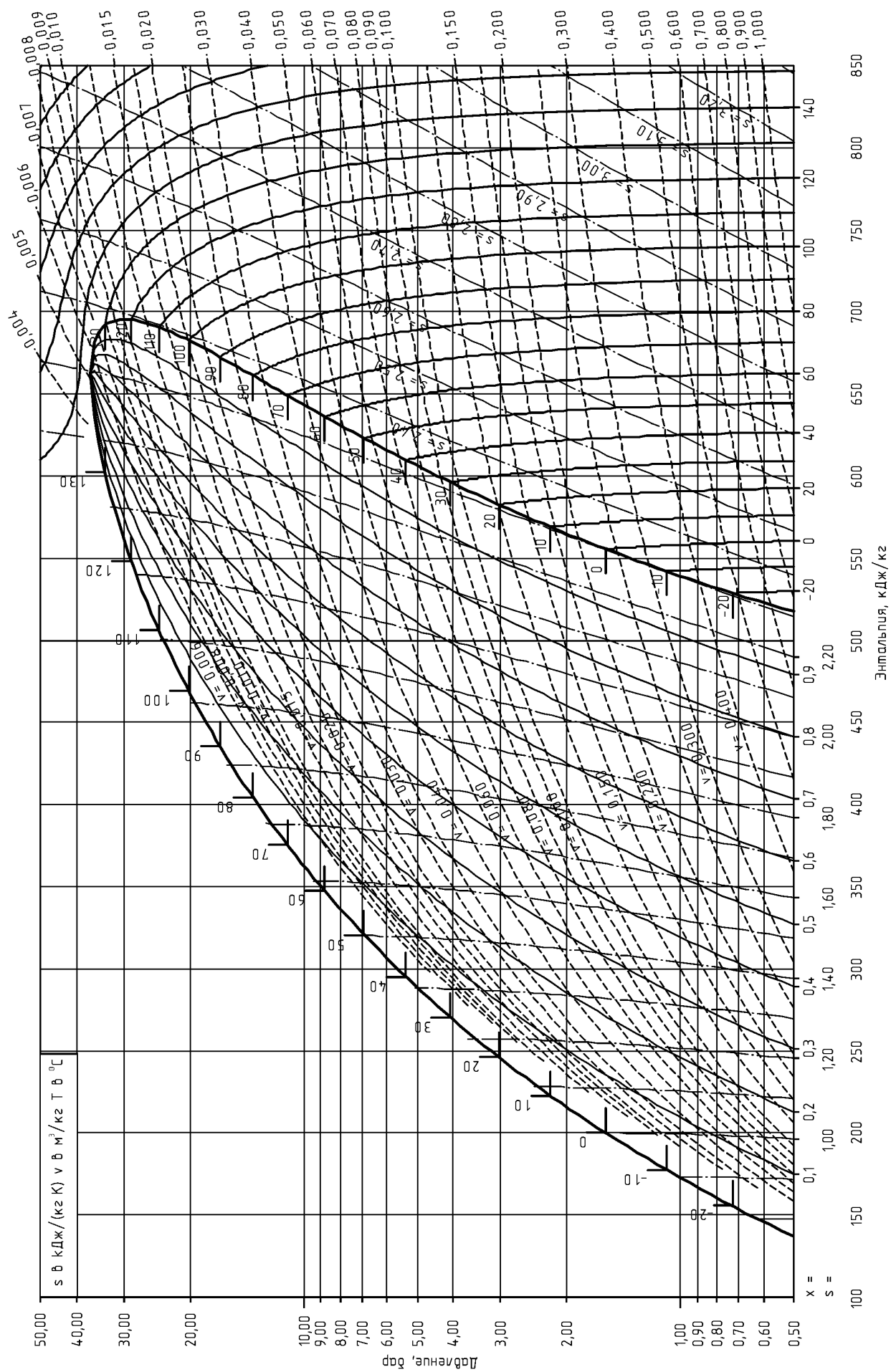
46. *i* – *P* диаграмма для фреон-22



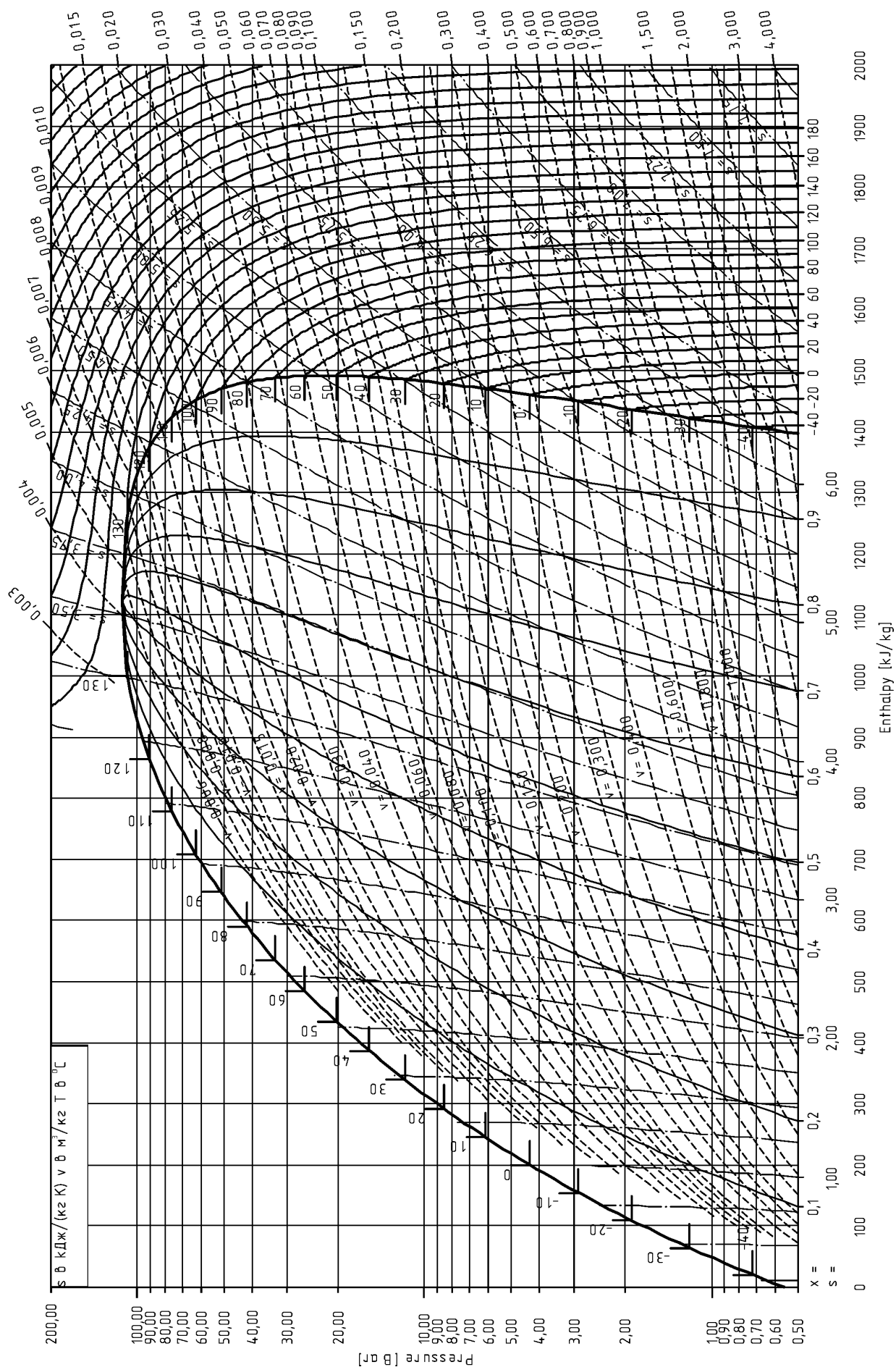
47. *i* – *P* диаграмма для бутана ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$)



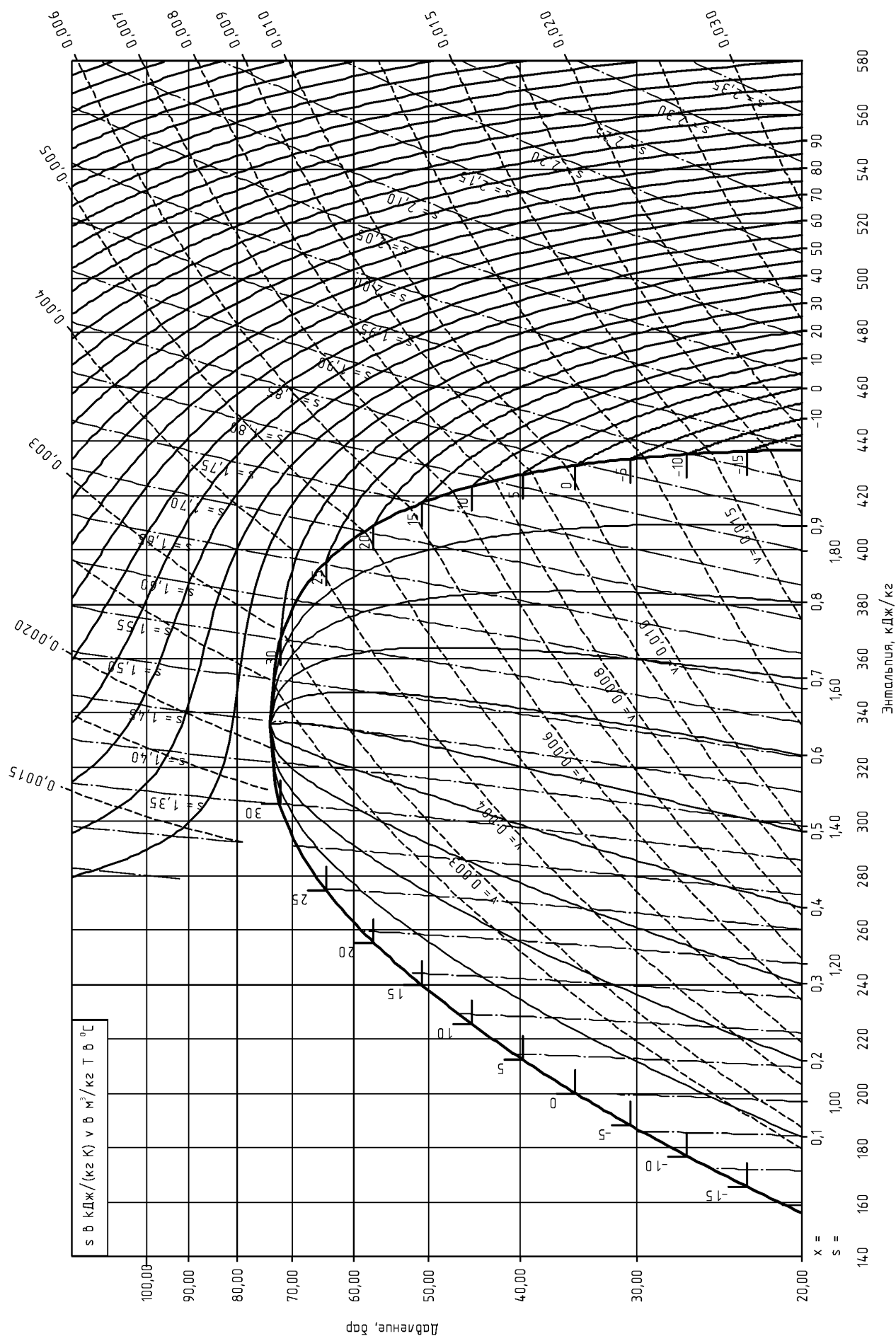
48. $i - P$ диаграмма для изобутана ($\text{CH}(\text{CH}_3)_3$)



49. $i - P$ диаграмма для аммиака (NH_3)



50. i – P диаграмма для диоксида углерода (CO₂)



51. *i* – *P* диаграмма для воды (H₂O)

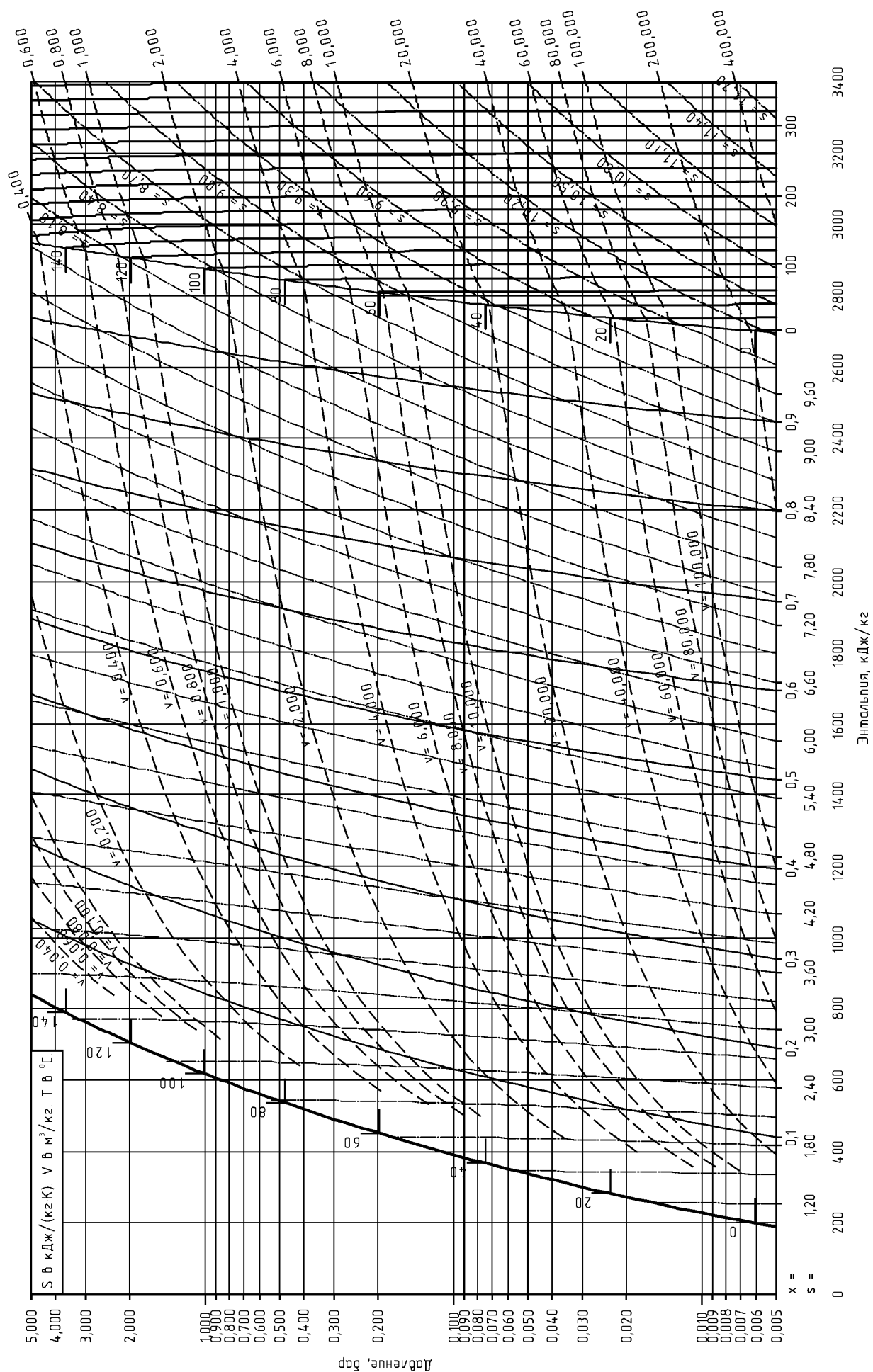


Таблица 58 – Физические свойства сухого воздуха (давление $1,013 \cdot 10^5$ Па)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$\mu \cdot 10^3, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,2	15,7	10,8	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	11,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,6	16,0	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	21,50	22,1	0,69
100	0,946	1,009	3,21	21,9	23,0	0,688
120	0,898	1,009	3,34	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	23,70	27,8	0,684
160	0,815	1,017	3,64	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	26,0	34,85	0,68
250	0,674	1,038	4,27	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,6	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	44,3	134,8	0,713
900	0,301	1,172	7,63	46,7	155,10	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	49,0	177,1	0,719
1100	0,257	1,197	8,5	51,2	199,3	0,722
1200	0,239	1,210	9,15	53,5	233,7	0,724

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982.
2. Мазуренко Е.А. Справочник по экстракции. – М.: Техника, 1972. – 448 с.
3. Плановский А.Н., Ромин В.М., Коган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. – М: Химия, 1968. – 848 с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

А

Атмосферное давление, 32
Атомные массы, 6

Б

Бинарные смеси
кривые равновесия, 67
равновесные составы жидкости, 63, 64
равновесные составы пара, 63, 64

В

Влажный воздух
диаграмма Рамзина (параметры состояний), 78
Высота всасывания, 32
Вязкость
атомные константы, 12
вода. См. Динамический коэффициент водных растворов. См. Динамический коэффициент газов, 18, 20
глицерин. См. Динамический коэффициент жидкостей. См. Динамический коэффициент жидкостей, 15

Д

Давление
насыщенного водяного пара, 61
насыщенного пара гексана, 66
насыщенного пара жидкости, 67
насыщенного паравравновесные составы пара, 65
органические жидкости, 12
Диаграмма
 i - S для водяного пара, 84
 i - P для аммиака, 89
 i - P для бутана, 87
 i - P для воды, 91
 i - P для диоксида углерода, 90
 i - P для изобутана, 88
 i - P для фреон12, 85
 i - P для фреон22, 86
 T - S для аммиака, 81
 T - S для воздуха, 83
 T - S для двуокиси углерода, 82
Диаграмма линейная
по гексану, 54
температура кипения, 49

Динамический коэффициент вязкости
водные растворы, 13
воды, 11
глицерин, 11
жидкостей, 17

К

Коэффициент
вынужденная конвекция, 46
Генри, 62
диффузии газов в воде, 62
диффузии газов в воздухе, 61
объемного расширения водных растворов, 45
объемного расширения жидкостей, 45
поверхностного натяжения водных растворов, 22
поверхностного натяжения жидкостей, 22, 23
поправочный в кожухотрубчатых теплообменниках, 51
при конденсации, 50
расхода, 31
свободная конвекция, 47, 48
теплопроводности водных растворов, 40
теплопроводности газов, 40
теплопроводности дымовых газов, 43
теплопроводности жидкостей, 40, 41, 43
теплопроводности твердых материалов, 39
трения, 26, 27, 28
трения при ламинарном режиме, 30
Критерии
 $Gr \cdot Pr$ для воды, 49
Критерий
Прандтля для жидкостей, 44
Коэффициент
местных сопротивлений, 29

М

Местные сопротивления
коэффициент, 29
Мешалки
константы, 32
критерий мощности, 35
Молекулярная масса газов, 14

Н

Насадки
скрубберные, 31
хордовые, 31

Насыщенные пары
аммиака, 57
водяного пара, 58
давление насыщенного пара, 65
жидкостей, 67
насыщенного водяного пара, 59
хладона–12, 56

П

Плотность
водных растворов, 10
жидкостей, 9, 10
органические жидкости, 12
органических жидкостей, 7
твердых материалов, 9
Поверхностное натяжение
водных растворов, 19, 22
воды на границе с органическими
жидкостями, 25
жидкостей, 19, 22

Р

Растворимость
органических растворителей в воде, 68
солей в воде, 66
Расход
газа, 24
жидкостей, 24
коэффициент, 31
Режимы движения
в змеевиках, 28

С

Свойства
насыщенного водяного пара. См.
Насыщенные пары
Скорость
осаждения $Ly=f(Ar)$, $Ly=f(Re)$, 32, 34

Т

Температура
критическая. См. Молекулярная масса
газов
Температура кипения
бинарной смеси, 63
водных растворов, 52, 53, 55
гексана, 54
жидкостей, 51

насыщенного пара, 65
органические жидкости, 12
по воде, 49
Тепловая проводимость
загрязнений, 46
Теплоемкость удельная
водных растворов (NaCl, CaCl), 55
газов, 36, 38
жидкостей, 36, 37
твердых материалов, 36
Теплопроводность
коэффициент водных растворов, 40
коэффициент газов, 40
коэффициент дымовых газов, 43
коэффициент жидкостей, 40, 41, 43, 44
коэффициент твердых материалов, 39
Теплоотдача
вынужденная конвекция, 46
при конденсации, 50
свободная конвекция, 47, 48
Теплота парообразования
удельная, 54
удельная гексана, 54
Теплота удельная
адсорбции, 76
растворения, 76
Трение
коэффициент, 26, 27, 28, 30

Ф

Физические свойства
водных растворов (NaCl), 56
водных растворов CaCl при низких
температурах, 57
воды, 6
воздуха сухого, 92
газов, 7
насыщенного пара, 56
насыщенного пара аммиака, 57
органические жидкости, 12

Ш

Шероховатость
стенок труб, 25

Э

Экстракция
степень извлечения, 68

Довідково-методичне видання

ТАБЛИЦІ, РОЗРАХУНКОВІ НОМОГРАМИ ТА ДІАГРАМИ
З КУРСУ
«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ»

для студентів хімічних спеціальностей усіх форм навчання

Укладачі: **ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Леонід Леонідович**
 ЛЕЩЕНКО Валентин Олександрович,
 РЯБОВА Ірина Борисівна,
 ДУРАВКІНА Галина Леонідівна,
 НОВИКОВА Галина Сергіївна,
 ГОРБУНОВ Костянтин Олександрович

Відповідальний за випуск **Ведь В.Є.**

Роботу до видання рекомендував **Шапорев В.П.**

В авторській редакції

План 2003, поз. 37/138-03.

Подп. до друку. 06.10.03. Формат 60×84 1/16. Папір офсет. Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум.друк.арк. 5,4. Обл.-вид. арк. 5,3. Тираж 100 прим. Зак. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ „ХПІ”. Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ „ХПІ” , 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
